



Liikenne- ja
viestintäministeriö

Tuulivoimaloiden vaikutukset liikenne- turvallisuuteen

Selvitys etäisyysvaatimuksista
tie-, rautatie-, meri- ja lentoliikenteen
osalta

Liikenne- ja viestintäministeriön

toiminta-ajatus

Liikenne- ja viestintäministeriö edistää yhteiskunnan toimivuutta ja väestön hyvinvointia huolehtimalla siitä, että kansalaisten ja elinkeinoelämän käytössä on laadukkaat, turvalliset ja edulliset liikenne- ja viestintäyhteydet sekä alan yrityksillä kilpailukykyiset toimintamahdollisuudet.

visio

Suomi on eturivin maa liikenteen ja viestinnän laadussa, tehokkuudessa ja kansainvälisessä osaamisessa.

arvot

Rohkeus

Oikeudenmukaisuus

Yhteistyö



Julkaisun nimi

Tuulivoimaloiden vaikutukset liikenneturvallisuuteen
Selvitys etäisyysvaatimuksista tie-, rautatie-, meri- ja lentoliikenteen osalta

Tekijät

Klas Hytönen, Mervi Harju, Jutta Piispanen, Sini Haulos

Toimeksiantaja ja asettamispäivämäärä

Liikenne- ja viestintäministeriö, Työ- ja elinkeinoministeriö, Liikenteen turvallisuusvirasto,
Liikennevirasto ja Finavia

Julkaisusarjan nimi ja numero

Liikenne- ja viestintäministeriön
julkaisuja 20/2012

ISSN (verkkojulkaisu) 1795-4045
ISBN (verkkojulkaisu) 978-952-243-321-3
URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-321-3>
HARE-numero

Asiasanat

Liikenneturvallisuus, maantie, rautatie, vesiliikenne, ilmailuliikenne, tuulivoimala, tuulivoima-
puisto, etäisyysvaatimus

Yhteyshenkilö

Saara Jääskeläinen,
Liikenne- ja viestintäministeriö

Tiivistelmä

Tuulivoiman toteuttamis- ja suunnitteluprojektien lisääntyessä on tuulivoiman tuottajien ta-
holta esitetty näkemyksiä siitä, että maamme liikenneinfrastruktuurit asettavat rajoituksia,
jotka vaikeuttavat tuulivoimaprojektien toteuttamista. Tuulivoimalan vaurioitumista sekä lu-
men ja jään irtoamista tuulivoimalan tornista ja lavoista pidetään yleisesti vaarana maantie-
ja rautatieliikenteelle. Meri- ja lentoliikenteelle tuulivoimalat ovat esteitä ja haittaavat navi-
gointia. Käytettävissä olevan tiedon perusteella näyttää siltä, että tuulivoimaloihin liitetyistä
onnettomuuksista ei aiheudu merkittävää vahinkoa ulkopuolisille. Pääosa henkilövahingoista
ja kuolemaan johtaneista onnettomuuksista koskettaa tuulivoimalan toteutus- tai käyttövai-
heen henkilökuntaa, ei ulkopuolisia henkilöitä.

Tämän selvitystyön tavoitteena on ollut selvittää kuinka Suomessa olevat liikennemuotokoh-
taiset etäisyysvaatimukset eroavat vertailuun mukaan otetuissa maissa, sekä löytää perustei-
ta nykyisten ohjeiden mahdolliseen muuttamiseen. Suomessa on edelleen toukokuussa vuon-
na 2012 Liikenneviraston tekemän ohjumuutoksen jälkeen pisimmät etäisyysvaatimukset tuu-
livoimalan sijoittamiseen korkean nopeusrajoitusten pääteiden läheisyydessä. Muiden maan-
teiden osalta erot vertailun kohteena olleiden maiden välillä ovat pieniä. Rautateiden etäi-
syysvaatimukset poikkeavat vertailtujen maiden osalta toisistaan suhteellisen vähän. Lyhin
etäisyysvaatimus on Ruotsissa. Suomessa ja Tanskassa maanteiden ja rautateiden etäisyyksiä
on viime vuosina pienennetty. Tarkastelluissa vertailumaissa ei ole esitetty varsinaisia edeltä
määritettyjä etäisyyksiä esimerkiksi laivaväyliin tai -reitteihin liittyen. Kansainvälinen ilmailu-
järjestö ICAO on määrännyt kansainvälisesti lentoasemien läheisistä esterajoitusalueista sekä
lentoesteiden merkitsemisestä. Valtiot ovat tehneet kansalliset ilmailumääräykset sen mukai-
sesti ja ne ovat melko yhteneviä.

Tässä selvitystyössä suositellaan maanteiden kohdalla yleiseksi vähimmäisetäisyysvaatimuk-
seksi 1 x tuulivoimalan kokonaiskorkeus. Tienpitäjä voisi perustelluista syistä edellyttää suu-
rempaa etäisyyttä esimerkiksi pääteiden vilkkaiden liittymien läheisyydessä. Rautateiden koh-
dalla yleiseksi etäisyysvaatimukseksi ehdotetaan 1 x tuulivoimalan kokonaiskorkeutta. Meri-
tuulivoimaloiden ja -puistojen rakentaminen tulisi edellyttää riskiarvioinnin tekemistä. Lento-
liikenteen osalta suositellaan kansallisesti selkeyttämään ja yksinkertaistamaan lentoestelupi-
en vyöhykkeet tuulivoimaloiden suunnittelun lähtökohdiksi. Tarkoituksen mukaista olisi luoda
yhtenäinen käytäntö ja prosessi yhteiskunnallisten vaikutusten ja riskien selvittämiseksi

Publiceringsdatum
21.11.2012

Publikation

Vindkraftverks inverkan på trafiksäkerheten
Utredning om avståndskrav till väg-, järnvägstrafik, sjö- och luftfart

Författare

Klas Hytönen, Mervi Harju, Jutta Piispanen, Sini Haulos

Tillsatt av och datum

Kommunikationsministeriet, Arbets- och Näringsministeriet, Trafiksäkerhetsverket,
Trafikverket och Finavia

Publikationsseriens namn och nummer

Kommunikationsministeriets
publikationer 20/2011

ISSN (webbpublikation) 1795-4045
ISBN (webbpublikation) 978-952-243-321-3
URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-321-3>
HARE-nummer

Ämnesord

Trafiksäkerhet, landsväg, järnväg, sjöfart, luftfart, vindkraftverk, vindpark, avståndskrav

Kontaktperson

Saara Jääskeläinen,
Kommunikationsministeriet

Rapportens språk

Finska

Sammandrag

Med en ökning av projekt för anläggning och planering av vindkraft har det från vindkraftproducenternas sida anförts åsikter att vårt lands trafikinfrastruktur medför begränsningar, som försvårar förverkligandet av projekten. Vindkraftverks haverier samt snö och is som lösgörs från vindkraftverkens torn och rotorblad anses allmänt vara en fara för landsvägs- och järnvägstrafik. För sjö- och luftfart utgör vindkraftverk hinder och försvårar navigering. Tillgänglig data indikerar att de olyckor som kopplas till vindkraftverk inte medför märkbar skada för utomstående. Merparten av personskade- och dödsolyckor drabbar vindkraftverkens anläggnings- eller driftspersonal, inte utomstående.

Målet för denna utredning har varit att studera hur avståndskrav vid olika färdssätt avviker jämfört med motsvarande krav i valda länder, samt att finna möjliga motiveringar för översyn av anvisningarna. Avståndskraven för anläggning av vindkraftverk invid huvudvägar med hög hastighetsbegränsning är fortfarande störst i Finland även efter Trafikverkets revidering i maj 2012. För övriga vägar är skillnaderna i jämförelseländerna små. För järnvägarnas del är skillnaderna i avståndskraven relativt små. De minsta avståndskraven har Sverige. I Finland och Danmark har avståndskraven till vägar och järnvägar minskats under de senaste åren. I de länder som ingått i jämförelsen har egentliga avståndskrav till sjöfartsleder inte angivits. Internationella luftfartsorganisationen ICAO har reglerat hinderbegränsningsytor och märkning av flyghinder. Enskilda stater har upprättat nationella bestämmelser utgående från dessa och bestämmelserna är relativt samstämmiga.

Denna utredning rekommenderar för landsvägarnas del ett minimumavståndskrav på 1 x vindkraftverkets totalhöjd. Vaghållaren kan i särskilda fall förutsätta ett större avstånd till exempel i närheten av livliga korsningar. Vid järnvägar föreslås ett generellt avståndskrav motsvarande vindkraftverkets totalhöjd. Anläggning av vindkraftverk och -parker till havs förutsätter en riskbedömning. För flygtrafikens del rekommenderas klagörande och förenkling av flyghindertillståndszoner som utgångspunkt för planeringen av vindkraftverk. Det vore även ändamålsenligt att ta fram ett enhetligt förfarande och process för utredning av samhällsliga konsekvenser och risker.

Date
21.11.2012

Title of publication

Wind farms' influences for traffic safety
Study of distance requirements for road traffic, railway traffic, sea traffic and air travel

Author(s)

Klas Hytönen, Mervi Harju, Jutta Piispanen, Sini Haulos

Commissioned by, date

Ministry of Transport and Communications, Ministry of Employment and the Economy, Finnish Transport Safety Agency, Finnish Transport Agency and Finavia

Publication series and number

Publications of the Ministry of
Transport and Communications
publication 20/2011

ISSN (online) 1795-4045
ISBN (online) 978-952-243-321-3
URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-321-3>
Reference number

Keywords

Traffic safety, road, railway, sea traffic, air travel, wind farm, wind park, distance requirement

Contact person

Saara Jääskeläinen,
Ministry of Transport and Communications

Language of the report
Finnish

Abstract

As wind power projects, both design and implementation, have increased rapidly, wind power manufacturers have stated that infrastructure of traffic restricts and complicates implementation of wind power projects. Failure of wind farm and both snow and ice thrown from blades and tower are commonly thought to be dangerous for settlement and for road, railway and sea traffic. Based on the accessible information accidents, which are connected to wind farms, won't cause notable harm for outsiders. Majority of the human injury and fatal accidents concerns the personnel of the wind farm in implementation and operational phases, not outsiders.

Purpose of this study has been to clarify how distances requirements in different forms of traffic in Finland differ from other countries that are included in this comparison, and to find grounds for possibly revising these guidelines. In Finland there are still longest distance requirements when placing wind farm nearby the main roads, even after Finnish Traffic Agency revised guidelines in 2012.

Regarding roads, differences between all the countries were minor. Also distance requirements regarding railways differ relatively little. Sweden has shortest distance requirement. Distance requirements in Finland and Denmark have been reduced in past few years. Any of these countries have not stated actual defined distance requirements related for example to shipping channels or lanes. International Civil Aviation Organization ICAO has settled internationally rules for obstacle limitation surface nearby airports and marking flight obstacles. Countries have stated national aviation regulations according to these rules and for this reason these regulations are quite consistent.

In this study distance requirements are recommended to be calculated for certain basis. In case of roads and railways a general minimum distance requirement is suggested to be 1 x wind farm overall height. Road owner is allowed to require higher distance for reasonable reasons, for example when main road's busy junctions are nearby. Risk assessment should be required when constructing offshore wind farms and -parks. It's recommended to clarify and simplify zones of flight obstacle permits nationally for air travels part, that planning of wind farms is based on. It would be appropriate to create a continuous practice and process for performing wide-range influence and risk assessment.

Sisällysluettelo

1.	Johdanto ja selvityksen rajaus	4
2.	Tuulivoimalat	5
2.1	Tuulivoimaloiden kehitys	5
2.2	Käsitteet ja terminologia	6
2.3	Tuulivoimaloihin liittyvät onnettomuudet	8
3.	Maantie- ja rautatieliikenne	10
3.1	Määritelmiä	10
3.2	Etäisyysvaatimukset ja perustelut	10
3.2.1	Suomi.....	10
3.2.2	Ruotsi.....	11
3.2.3	Tanska.....	12
3.2.4	Saksa	13
3.2.5	Iso-Britannia	14
3.2.6	Yhdysvallat.....	14
3.2.7	Kanada, Ontario.....	15
3.3	Case-tarkastelua	15
3.3.1	Vt 4 Simo, Suomi.....	15
3.3.2	E4, Brahehus, Ruotsi	16
3.3.3	Highway Agencyn selvitys, Iso-Britannia	16
3.3.4	E 45 Jyllanti, Tanska.....	16
3.3.5	A 1 Mahndorf, Saksa.....	16
3.4	Yhteenvedo ja johtopäätökset.....	17
4.	Meriliikenne	19
4.1	Suomen vesiliikennejärjestelmä	19
4.2	Tuulivoimalat vertailumaissa.....	22
4.3	Käytännöt ja etäisyysvaatimukset	25
4.3.1	Suomi.....	25
4.3.2	Ruotsi.....	25
4.3.3	Tanska.....	26
4.3.4	Saksa	28
4.3.5	Iso-Britannia	29
4.3.6	Yhdysvallat.....	33
4.3.7	Kanada	33
4.4	Yhteenvedo ja johtopäätökset.....	33
5.	Lentoliikenne	35
5.1	Lentoliikennejärjestelmä	35
5.1.1	Lentoliikenne ja kansainväliset määräykset	35
5.1.2	Lentoestepinnat ja käytettävyyalueet	35
5.1.3	Lentotoiminnan turvallisuus, sujuvuus, ekologisuus ja taloudellisuus - lentoesteet	37
5.2	Este-etäisyydet eri maissa	38
5.2.1	Suomi.....	38
5.2.2	Ruotsi.....	41
5.2.3	Saksa	43
5.2.4	Iso-Britannia	43
5.2.5	Yhdysvallat.....	44
5.3	Yhteenvedo ja johtopäätökset.....	45
6.	Tuulivoimaloihin liittyvät liikenneturvallisuusongelmat ja riskit	47
6.1	Riskienhallintaprosessi ja terminologia	47
6.2	Tuulivoimalan aiheuttamat vaarat liikenteelle.....	48

6.2.1	Tuulivoimalan vaurioituminen	48
6.2.2	Jäätyminen ja jään irtoaminen	50
6.2.3	Keskittymishäiriöt ja häikäisyvaara.....	55
6.2.4	Meriliikenteeseen vaikuttavat vaarat ja riskinarviointi	57
6.2.5	Lentoliikenteeseen vaikuttavat vaarat ja riskinarviointi	61
6.3	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	63
7.	Selvityksen laatijoiden suositukset	65
7.1	Maantie- ja rautatieliikenne	65
7.2	Meriliikenne	65
7.3	Lentoliikenne	67
Lähteet	68

Esipuhe

Suomessa ilmasto- ja energiastrategian yhtenä päätavoitteena on lähivuosina tuulienergiatuotannon huomattava lisäys. Vuoteen 2020 mennessä tuulivoimaloiden määrää on tarkoitus lisätä nykyisestä alle 200 voimalasta 700–1000 voimalaan.

Liikenneinfrastruktuurin toimivuus ja turvallisuus on Suomessa pyritty varmistamaan mm. asettamalla tuulivoimaloille etäisyysvaatimuksia liikenneverkkoon nähden ja antamalla lausuntoja tuulivoimalan suunnitteluprosessiin. Liikenneviranomaisten näkemys asetettuihin etäisyysvaatimuksiin on kyseenalaistettu viimeksi ministeri Lauri Tarastin selvityksessä 'Tuulivoimaa edistämään', joka julkaistiin huhtikuussa 2012.

Liikenne- ja viestintäministeriö käynnisti vuoden 2012 alussa tämän selvityksen tuulivoimaloiden vaikutuksista liikenneturvallisuuteen. Selvityksen ensisijaisena tavoitteena on ollut tutkia kansainvälisesti käytössä olevia etäisyysvaatimuksia ja niihin liittyviä perusteita, sekä laatia suosituksia Suomen liikenneviranomaisille ohjeistuksia varten.

Tämän selvitystyön aikana 25.5.2012 Liikennevirasto lievensi asettamiaan etäisyysvaatimuksia maanteihin ja rautateihin päivitetyllä ohjeellaan 'Tuulivoimaloiden rakentamisesta liikenneväylien läheisyyteen'.

Selvityksen laatimista ovat rahoittaneet liikenne- ja viestintäministeriö, työ- ja elinkeinoministeriö, Liikennevirasto, Liikenteen turvallisuusvirasto ja Finavia.

Työn ohjausryhmään ovat kuuluneet:

Sari Lajunen, Liikennevirasto (pj)
 Saara Jääskeläinen, Liikenne- ja viestintäministeriö
 Petteri Kuuva, Työ- ja elinkeinoministeriö
 Auli Forsberg, Liikennevirasto
 Matti Aaltonen, Liikennevirasto
 Ville Saarinen, Liikennevirasto
 Heikki Silpola, Liikenteen turvallisuusvirasto
 Heikki Isomaa, Finavia
 Anni Mikkonen, Suomen tuulivoimayhdistys ry
 Miia Wallén, Energiateollisuus ry

Selvityksen ovat laatineet Ramboll Finland Oy:n Klas Hytönen, Mervi Harju, Jutta Piispainen ja Sini Haulos. Haluamme kiittää työhön osallistuneita tahoja sekä muita ohjausryhmän ulkopuolisia henkilöitä, joiden asiantuntijuudella olemme saaneet vietyä tätä selvitystyötä eteenpäin sovitus- aikataulussa.

Esitetyt johtopäätökset ja suositukset ovat selvityksen laatijoiden.

Helsingissä 21. marraskuuta 2012

Saara Jääskeläinen
 Neuvotteleva virkamies
 LVM, Liikennepolitiikan osasto

1. Johdanto ja selvityksen rajaus

Valtioneuvoston hyväksymän pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategien (VNS 6/2008) mukaan tavoitteena on nostaa tuulivoiman asennettu kokonaisteho nykyisestä noin 200 MW:n vuoden 2011 lopun tasosta noin 2000 MW:iin vuoteen 2020 mennessä, jolloin vuotuinen sähkön tuotanto tuulivoimalla olisi noin 6 TWh. Tuulivoiman toteuttamis- ja suunnitteluprojektien lisääntyessä on tuulivoiman tuottajien taholta esitetty näkemyksiä siitä, että maamme liikenneinfrastruktuuri asettavat rajoituksia, jotka vaikeuttavat tuulivoimaprojektien toteuttamista. Huhtikuussa 2012 ministeri Lauri Tarasti julkaisi selvityksensä tuulivoiman toteuttamisen hallinnollisista esteistä 'Tuulivoimaa edistämässä', jossa mm. kiinnitetään huomiota maanteiden, rautateiden ja lentoasemien läheisyyteen sijoitettavien tuulivoimaloiden etäisyysvaatimuksiin. Lauri Tarastin mielestä etäisyysvaatimuksia tulisi pienentää.

Tämän selvitystyön tavoitteena on ollut selvittää kuinka Suomessa olevat liikennemuotokohtaiset etäisyysvaatimukset eroavat vertailuun mukaan otetuissa maissa, sekä löytää perusteita nykyisten ohjeiden mahdolliseen muuttamiseen. Näiden lisäksi selvitettiin vertailukohteena olevien maiden osalta niiden käyttämiä perusteita ja käytäntöjä ohjeistetuista etäisyysvaatimuksista poikkeamiseen. Selvitystyön vertailumaita ovat olleet Ruotsi, Tanska, Saksa, Iso-Britannia, Yhdysvallat ja Kanada. Selvitystyössä tehty tarkastelu koskee pääasiassa suurehkoja teollisia tuulivoimaloita.

Tässä selvitystyössä on käsitelty tuulivoimaloiden käyttöön liittyviä vaara- ja haittatekijöitä sekä niistä muodostuneita riskejä eri liikennemuotoihin liittyvin esimerkein. Selvitystyössä esiin kirjatut vaara- ja haittatekijät perustuvat ulkomaisiin lähteisiin ja ne liittyvät keskeisesti tuulivoimaloiden sijoittamisen yhteydessä puhuttaviin etäisyysvaatimuksiin. Selvitystyössä esitetyt vaara- ja haittatekijät sekä niistä muodostuneet riskit perustuvat vertailumaiden osalta tehtyihin aineistoanalyysiin, eikä välttämättä ole merkittävimpiä, joita Suomessa esiintyisi. Selvitystyössä ei ole tehty tarkastelua tuulivoimapuiston sijoitusmalleihin tai niissä yksittäisten tuulivoimaloiden keskinäiseen sijoittamiseen liittyvistä turvallisuusvaikutuksista.

Etäisyysvaatimuksista voidaan yleisesti todeta, että ne lisäävät liikenneturvallisuutta mutta vähentävät tuulivoiman toteuttamismahdollisuuksia käytettävän pinta-alan pienentyessä. Selvitystyön aikana on liikenneturvallisuusvaikutusten lisäksi selvinnyt, että etäisyysvaatimuksilla ja niiden pienentämisellä on erityisesti vaikutuksia lento- ja meriliikenteen toimintaedellytyksiin mukaan lukien mahdollisia alusten lisämatkan aiheuttamia kustannusvaikutuksia.

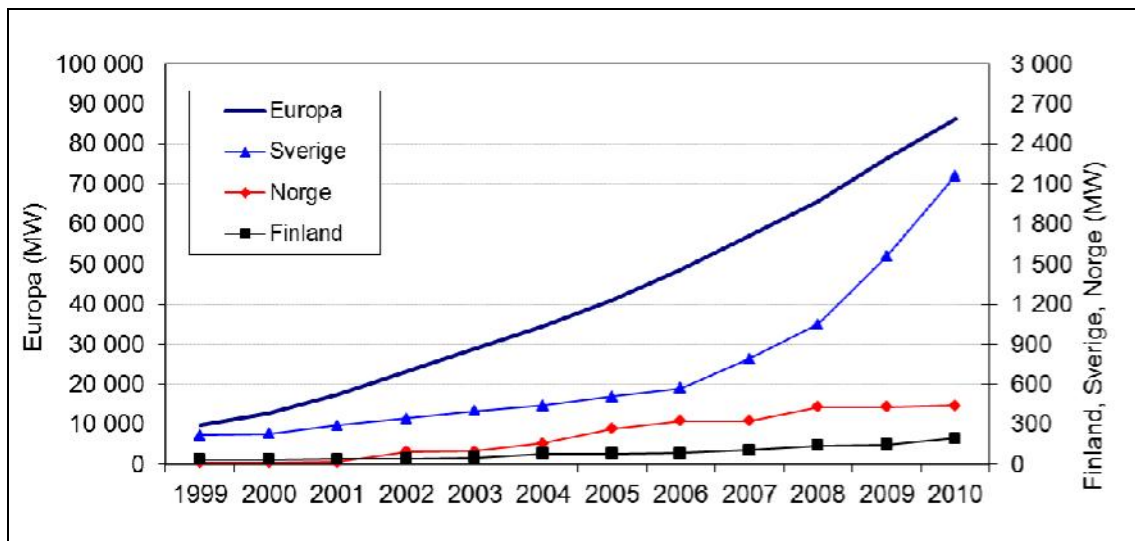
Lisäksi tämän selvityksen tavoitteena on ollut auttaa hahmottamaan, mitä vaaroja tuulivoiman rakentaminen liikenneväylien läheisyyteen voi aiheuttaa, ja mitä riskit ja niihin liittyvä riskinotto mahdollisesti voi merkitä lopputilanteessa turvallisuuden näkökulmasta. Yleisesti voidaan todeta, että tuulivoimaloiden käytönaikaiset turvallisuutta mahdollisesti heikentävät riskit voivat toteutuessaan kohdistua ihmisiin, eläimiin, omaisuuteen tai ympäristöön.

2. Tuulivoimalat

2.1 Tuulivoimaloiden kehitys

Ensimmäiset modernien tuulivoimaloiden edelläkävijät rakennettiin Neuvostoliittoon ja Yhdysvaltoihin 1930–40 -luvuilla. Öljykriisi 1970 -luvulla aloitti voimaloiden varsinaisen kehityksen ja ensimmäinen varsinainen tuulipuisto rakennettiin Yhdysvaltoihin vuonna 1980. Tanskaan rakennettiin ensimmäinen merituulipuisto vuonna 1991. Ensimmäinen yksittäinen teollinen koetuulivoimala (200 kW) rakennettiin Suomessa Inkoon Kopparnäsiin vuonna 1991 ja vielä samana vuonna rakennettiin Korsnäsiin ensimmäinen teollinen, sähköä myytäväksi tuottava tuulipuisto, koostuen neljästä 200 kW voimalasta. Uudelle vuosituuhannelle siirryttäessä rakennettiin jo megawattiluokan voimaloita, muun muassa vuonna 1999 lopussa aloitettiin Oulunsalon 1,3 MW voimalan rakentaminen. Suomen ensimmäinen 3 MW voimala valmistui Ouluun vuonna 2005. (Suomen Tuulivoimayhdistys, 2010)

Euroopassa tuulivoimakapasiteetti on lisääntynyt tasaisesti 2000-luvulla (kuva 1). Suomen osalta kehitys on ollut hyvin maltillista verrattaessa Euroopan ja Ruotsin kehityskaarta tuulivoimakapasiteetin näkökulmasta. Suomen tuulivoimakapasiteetin kehitys on ollut verrattavissa Norjan kehitykseen. Norja tuottaa energiastaan 99 % vesivoimallaan ja onkin suurin vesivoimaa tuottava maa Euroopassa.



Kuva 1. Tuulivoimakapasiteetin kehitys 1999-2010 (MW) Euroopassa sekä Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa. (Lähde: <http://www.vindstat.nu>)

Yksittäisten tuulivoimaloiden määrän voidaan todeta lisääntyneen samaa vauhtia 2000-luvulla, vaikka tuulivoimakapasiteetista ei suoraan voida päätellä tuulivoimaloiden määrää eri tehoisten tuulivoimaloiden vuoksi. Nykyisin suunniteltavat voimalat ovat huomattavasti suurempia kuin ensimmäiset tuulivoimalalaitokset. Suunnitteilla olevien laitosten teho on yleensä 2–5 MW, joissa tornin korkeus on noin 80–165 metriä ja lapojen pituus noin 50–70 metriä. Suunnitteilla on huomattavasti tätäkin suurempia laitoksia ja myös Suomessa on nostettu esiin jo 7,5 MW tuulivoimaloiden toteuttaminen. Niiden sijoitusetäisyys toisiinsa nähden on useita satoja metrejä riippuen muun muassa tuulivoimalan koosta, voimaloiden lukumäärästä ja sijoituskuvioista. Isojen tuulivoimaloiden (3-5 MW) sijoitusetäisyydet ovat tavallisesti 500–1000 metrin välillä.

2.2 Käsitteet ja terminologia

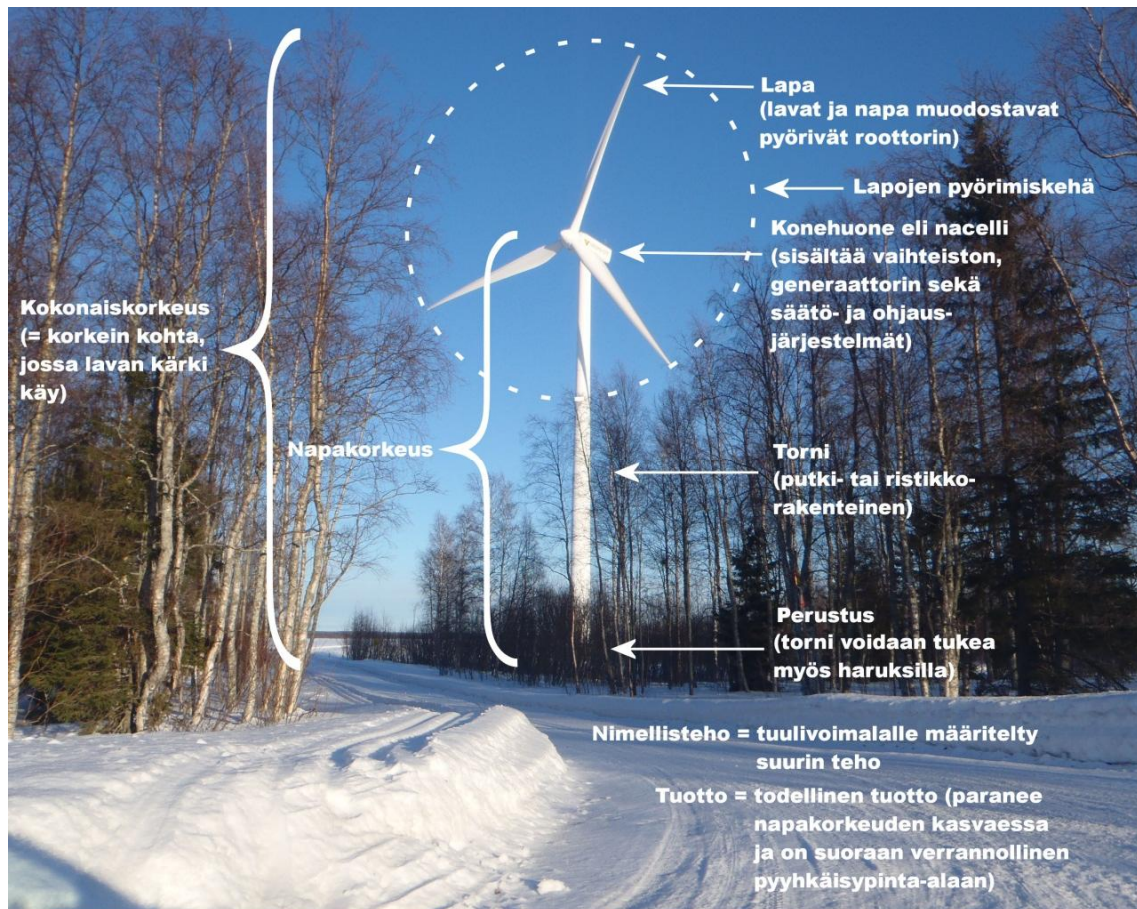
Teollinen tuulivoima (industrial wind power) tarkoittaa voimalaitosta tai tuulipuistoa, jolla tuotetaan sähköä myytäväksi. Teollista tuulivoimaa tuotetaan yleisesti kuvan 2 mukaisilla kolmilapaisilla vaaka-akselisilla ts. horisontaalivoimaloilla. Vertikaaliset tuulivoimalat ovat usein korkeudeltaan muutamia metrejä, lukuun ottamatta Suomen ulkopuolella olevia prototyyppiejä.

Erityisesti tuulivoimalahankkeiden koko ja sijainti vaikuttavat Suomessa luvitustarpeeseen. YVA -asetuksen mukaan vähintään 10 tuulivoimalan hanke edellyttää lain mukaisen ympäristövaikutusten arvioinnin (YVA). Ely-keskus voi harkintansa mukaan päättää myös pienempien alueiden YVA -prosessista. Myös yleiskaava laaditaan yleensä näille vähintään 10 voimalan hankkeille joko erityisenä tuulivoimayleiskaavana tai muun yleiskaavan yhteydessä. Tarvittaessa myös pienemmille hankkeille voidaan laatia yleiskaava. Maankäyttö- ja rakennuslain muutos 2011 mahdollistaa rakennuslupien myöntämisen yleiskaavan perusteella. Kun tuulivoimaloiden sijoittaminen ja vaikutusten arviointi edellyttää tarkkaa sijainninhajausta, laaditaan myös asemakaava (tyypillisesti teollisuus- ja satama-alueet ja muut jo rakennetut alueet). Vähäisille voimalamäärille saattaa riittää suunnittelutarveratkaisu tai poikkeamislupa. Joissakin tapauksissa pelkkä rakennuslupa saattaa riittää, mikä on haettava joka tapauksessa kaikille voimaloille. Lisäksi muita vaadittuja lupia ovat lentoestelupa (TraFi), Puolustusvoimien lausunto, vesilain mukainen lupa sekä sähköverkkoon liityntä ja sähkönsiirron menettelyt.

Viime aikoina on tehty runsaasti maakunnallisia tuulivoimaselvityksiä, joiden perusteella soveltuvat tuulivoima-alueet pyritään esittämään päivitettävissä maakuntakaavoissa. Maakuntakaavassa osoitettu tuulivoima-alue täsmentyy yleis- tai asemakaavassa.

Pientuulivoimaloilla (small wind turbines) tarkoitetaan noin 0,1-20 kW tehoisia tuulivoimaloita, joita käytetään mm. kotitalouksissa, maatiloilla, laitoksissa, vapaa-ajan asunnoissa sekä myös veneissä ja asuntovaunuissa tai -autoissa. Kansainvälinen IEC 61400-2 standardi (Wind turbines – Part 2: Design requirements for small wind turbines) määrittelee pientuulivoimaksi pyyhkäisypinta-alaltaan alle 250 m² suuruiset voimalat, joiden korkeus jää alle 50 m ja lapojen pituus alle 9 m. Alle 10 kW tuulivoimaloita kutsutaan myös mikroturbiineiksi. Suomessa pientuulivoimalan mastoa varten on yleensä oltava toimenpide- tai rakennuslupa.

Kuvassa 2 on havainnollistettu siipirakenteinen tuulivoimala sekä tuulivoimaloihin keskeisesti liittyvät käsitteet ja yleisesti käytössä oleva terminologia. Siipirakenteinen tuulivoimala on tällä hetkellä yleisesti käytetty rakenneratkaisu. Siipirakenteisten voimaloiden lisäksi käytössä on pienemmässä mittakaavassa, lähinnä yksittäisiä vertikaalisia tuuliturbiineja, joissa on tavallisesti spiraalin muotoon taivutetut levyt, jotka pyörivät pystyakselinsa ympäri (kuvat 3 ja 4).



Kuva 2. Tuulivoimalaan liittyviä käsitteitä.



Kuvat 3 ja 4. Vertikaalisia tuulivoimaloita.

2.3 Tuulivoimaloihin liittyvät onnettomuudet

Tiettävästi missään ei ole tilastoitu tarkasti ja kattavasti kaikkia tuulivoimaloiden käytön-aikaisia onnettomuuksia tai turvallisuuspoikkeamia. Seuraavassa onnettomuudella tarkoitetaan henkilö- tai aineellisiin vahinkoihin johtanutta onnettomuutta, kun taas turvallisuuspoikkeama käsittää näiden lisäksi myös vaaratilanteet sekä toteutuneet vaaratilanteet.

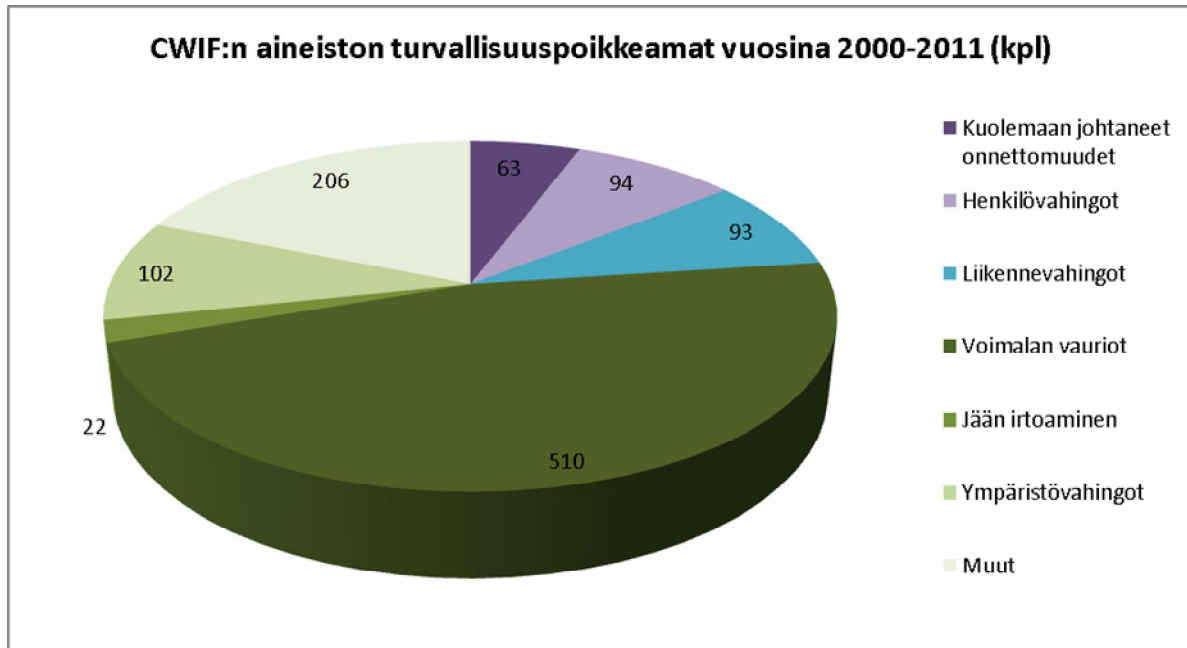
Kappaleessa 2.3. kuvatut onnettomuudet ja turvallisuuspoikkeamat on kerätty tuulivoimaan kriittisesti suhtautuvan Caithness Windfarm Information Forum CWIF:n kokoamasta aineistosta. Kyseinen CWIF:n kokoama aineisto on kuitenkin vain läpileikkaus tuulivoimaloihin liittyvistä onnettomuuksista, mutta on tämän selvitystyön tekohetkellä ainoa tuulivoimaloihin liitetty onnettomuusaineisto. Tarkasteltaessa kappaletta 2.3. tulee lukijan huomioida, että lähtötietona käytetty CWIF:n aineisto ei ole kattavasti tilastoitu tai jaoteltu tuulivoimaloiden elinkaaren aikaisia tai tiettyyn rakennetyyppiin liittyviä onnettomuuksia, mikä vaikeuttaa aineistoon liittyvää tulkintaa ja johtopäätösten tekoa. VTT on puolestaan tilastoinut Suomessa tuulivoimaloihin liittyviä vaarallisia onnettomuuksia (Turkia & Antikainen, 2012).

Kaiken kaikkiaan CWIF:n tietoon tulleita tuulivoimaloihin liittyviä turvallisuuspoikkeamia on tapahtunut 2000-luvulla yhteensä 1034 kpl. Turvallisuuspoikkeamat on jaettu seuraaviin ryhmiin: kuolemaan johtaneet onnettomuudet, henkilövahinkoihin johtaneet onnettomuudet, lavan toimintahäiriöt (ml. osien irtoaminen lavoista), tulipalot, vakavat rakenteelliset toimintahäiriöt (myrskyjen aiheuttamat tuhot sekä tuulivoimaloiden kaatumiset), jään putoamiset, aineellisiin vahinkoihin johtaneet liikenneonnettomuudet, ympäristövahingot (kuten lintujen kuolemat) ja muut poikkeamat (kuten sähköviat sekä ylläpidon puutteet). (CWIF, 2012). Alla olevassa kuvassa (kuva 5) lavan toimintahäiriöt, tulipalot sekä rakenteelliset häiriöt on yhdistetty tuulivoimalan vaurioiksi.

Kuolemaan johtaneita onnettomuuksia on CWIF:n aineistossa dokumentoitu yhteensä 63 kpl (kuva 5). Näissä kuolemaan johtaneissa onnettomuuksissa osallisia ovat olleet tuulivoimalan pystytykseen, huoltoon ja ylläpitoon osallistuneet työntekijät sekä tuulivoimalan osia kuljettaneet henkilöt. Henkilöitä koskevia onnettomuuksia on dokumentoitu yhteensä 94 kpl. Näistä henkilöihin liittyvistä onnettomuuksista 80 kpl on tapahtunut pystytyksessä, huolto- tai ylläpitovaiheessa työskennellyille henkilöille ja loput 14 kpl tuulivoimaloiden ulkopuolisille henkilöille, kuten paloturvallisuushenkilökunnalle tai kuljetuksesta vastaaville henkilöille.

Käytännöllisesti katsoen kaikki tämän selvityksen yhteydessä tarkasteltujen henkilöonnettomuuksien osalliset ovat olleet tuulivoimaloiden pystytykseen osallistuvia tai tuulivoimala-alueiden huoltoon ja ylläpitoon osallistuvia työntekijöitä tai tahoja. CWIF:n mukaan Englannissa yksikään sivullinen ei olisi ollut osallisena tuulivoimaloihin liittyvissä onnettomuuksissa. Myöskään sivullisten osuutta tuulivoimaonnettomuuksiin liittyen ei ole ollut tilastoituna tämän selvityksen tekohetkellä.

CWIF:n aineiston turvallisuuspoikkeamista vain 8 % (93 kpl) on liikennevahinkoja ja nämä liittyvät tuulivoimalan osien kuljetuksiin tuulivoimalan pystytyksen aikana (kuva 5). Tuulivoimaloiden aiheuttamia, ulkopuolisille aiheutuneita liikennevahinkoja ei ole tilastoitu ko. aineistossa.



Kuva 5. CWIF:n aineiston turvallisuuspoikkeamat vuosina 2000-2011 (kpl).

VTT:n laatimassa aineistossa on Suomessa vuosien 1996–2011 välisenä aikana dokumentoitu tapahtuvan yhteensä kuusi tuulivoimaloihin liittyvää turvallisuuspoikkeamaa. Nämä poikkeamat on jaoteltu vaarallisiksi sekä potentiaalisesti vaarallisiksi poikkeamiksi. Vaarallisia poikkeamia ovat olleet lavan kärjen irtoaminen (1 kpl), roottorin putoaminen (1 kpl) sekä lavan kärjessä olevan jarrun katkeaminen myrskyn vuoksi (2 kpl). Turvallisuuspoikkeamia, jotka ovat potentiaalisesti vaarallisia, on tapahtunut kaksi (2 kpl). Näistä molemmat ovat olleet lavan kärjessä olevan jarrun vaurioitumisia. (Turkia & Antikainen, 2012).

Aikaisemmin tuulivoimaloiden lavoissa käytettyjen karkijarrujen osalta voidaan todeta, että niitä ei enää käytetä ja ne ovat vanhentunutta teknologiaa tuulivoimateollisuudessa. Joten VTT:n raportista karkijarruihin liittyviä vaarallisia poikkeamia tai potentiaalisia vaarallisia tapahtumia ei nykyteknologialla varustetuissa tuulivoimaloissa tulisi näin ollen jatkossa ilmetä.

Käytettävissä olevan tiedon perusteella näyttää siltä, että tuulivoimaloihin liitetystä onnettomuuksista ei aiheudu merkittävää vahinkoa ulkopuolisille. Pääosa henkilövahingoista ja kuolemaan johtaneista onnettomuuksista liittyivät käyttöön saadun aineiston perusteella tuulivoimalan toteutusvaiheeseen. Kirjatut liikenneonnettomuudet liittyivät puolestaan tuulivoimalan rakennusosien kuljetuksiin sen rakentamisen aikana. Käyttövaiheen aikana ilmenneitä henkilöonnettomuuksia sivullisille tai liikenteelle ei tämän selvitystyön aikana ole löydetty tai käyttöön olisi saatu aineistoa, mistä maailman tai Euroopan laajuisesti saataisiin tietoa.

3. Maantie- ja rautatieliikenne

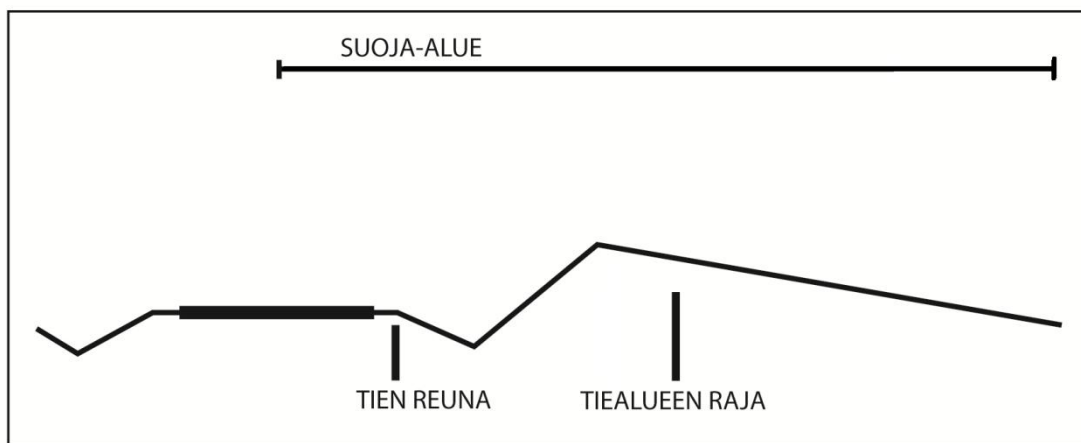
3.1 Määritelmiä

Alla on avattu muutamia tuulivoimaloiden turvallisuuteen maantieliikenteen näkökulmasta liittyviä käsitteitä.

Tien reuna: Tien reuna on pientareen reuna.

Tiealue: Tiealue käsittää tierakenteen tarvitseman tilan. Yleisesti tiealueen raja sijaitsee ojan tai leikkauksen ulkoreunan yläpään kohdalla. Suomessa tiealue ulottuu tyypillisesti 2 m luiskan yläpäästä.

Suoja-alue: Maantielaki 44§ määrittelee suoj-alueen siten, että suoj-alue on tien keskiliinjasta 20 m (tiesuunnitelmassa voidaan suoj-alue määrätä enintään 50 m leveäksi) (kuva 6). Liikennevirasto (ent. Tiehallinto) on ohjeistanut valta- ja kantateiden suoj-alueeksi 30 m ja moottoriteiden 50 m.



Kuva 6. Suomessa maantien etäisyysvaatimuksen määrittelyssä käytetyt käsitteet. Maanteiden etäisyysvaatimukset mitataan eri maissa tiekäytävän eri kohdista.

3.2 Etäisyysvaatimukset ja perustelut

3.2.1 Suomi

Maantiet

Liikennevirasto julkaisi vuonna 2011 ohjeen tuulivoimalan rakentamisesta liikenneväylien läheisyyteen, jossa se asetti tuulivoimalan sijoittamiseen etäisyysvaatimuksen siten, että tuulivoimalan tulee olla sijoitettuna riittävän etäälle maantiestä. Vuoden 2011 ohjeen mukaan valta- ja kantateillä sekä maanteillä, joilla nopeusrajoitus on 100 km/h tai enemmän, tulee tuulivoimalan etäisyyden olla vähintään 500 m tiealueesta. Muilla maanteillä vähimmäisetäisyysvaatimus maantiestä on suoj-alueen leveys lisättynä voimalan kokonaiskorkeus (torni ja lapa). Maantien kaarrekohdassa tuulivoimala on ohjeistettu sijoitettavan näkökentän ulkopuolelle. (Liikennevirasto, 2011).

Toukokuussa 2012 Liikennevirasto lievensi etäisyysvaatimusta. Uudessa ohjeessa suositellaan 300 metrin etäisyyttä pääteillä, joilla nopeusrajoitus on 100 km/h tai enemmän. Etäisyysvaatimus näillä pääteillä mitataan tien keskiviivasta. Riskinarvioinnin perusteella tuulivoimalan pienin sallittu etäisyys maanteista voi olla vähemmän, kuitenkin vähintään tuulivoimalan kokonaiskorkeus (torni ja lapa) lisättynä maantien suoja-alueen leveydellä. Maantien suoja-alue ulottuu yleensä 20 tai 30 metrin etäisyydelle maantien ajoradan tai uloimman ajoradan keskilinjasta. Moottoriteillä suoja-alue on 50 m. (Liikennevirasto, 2012).

Puolustusvoimat puolestaan ovat määritelleet, ettei varalaskupaikan kohdalla tuulivoimalaa saa sijoittaa 12 km lähemmäksi maantietä. Etäisyys mitataan säteenä varalaskupaikan keskipisteestä (halkaisija tällöin 24 km).

Määriteltäessä tuulivoimalan riittävää etäisyyttä maantiestä, tulee ottaa huomioon tie-luokka, liikennemäärä, nopeusrajoitus, rakennettavan tuulivoimalan tekniset ratkaisut ja muut liikenneturvallisuuteen vaikuttavat tekijät. Suomessa esitetyt perustelut maanteiden etäisyysvaatimuksille on perusteltu lumen ja jään sinkoutumisen sekä kuljettajan huomiokykyyn vaikuttavien tekijöiden kautta. Kuljettajan huomiokykyyn vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa huomion kiinnittyminen liikkuvaan lapaan sekä auringon valon ja muun valaistuksen aiheuttama vilkkuminen ja välke.

Rautatiet

Liikenneviraston vuoden 2011 ohjeen mukaan tuulivoimaloiden rakentamisesta liikenneväylien läheisyyteen, tuulivoimalan etäisyys lähimmän raiteen keskilinjasta tulee olla vähintään 1,7 x voimalan kokonaiskorkeus, kuitenkin vähintään 250 m. Vuoden 2012 ohjeessaan Liikennevirasto lievensi etäisyysvaatimusta rautateiden osalta siten, että tuulivoiman vähimmäisetäisyys tulee olla voimalan kokonaiskorkeus (torni ja lapa) + 30 metriä lähimmän raiteen keskilinjasta. Jos rautatien suoja-alue on enemmän kuin 30 m, vähimmäisetäisyys on voimalan kokonaiskorkeus lisättynä suoja-alueen leveydellä. Syöttöasemien ja muiden rautateihin liittyvien rakennusten tai rakennelmien osalta vaaditun etäisyyden arviointi toteutetaan tapauskohtaisesti viranomaisten kanssa. Etäisyysvaatimusta on perusteltu rautateille asetetun etäisyysvaatimuksen osalta voimalan rikkoutumisen ja jään irtoamisen näkökulmasta, jolloin irtoava osa, siipi tai jää voisi osua henkilö- tai tavarajunaan tai muuhun raiteella liikkuvaan yksikköön. (Liikennevirasto, 2011 ja 2012).

3.2.2 Ruotsi

Maantiet

Ruotsissa Trafikverket noudattaa Vägverketin ohjeistusta vuodelta 2003, jonka mukaan tuulivoimala on sijoitettava liikenneturvallisuuden kannalta hyväksyttävästi. Etäisyysvaatimus tiealueeseen on voimalan kokonaiskorkeus, kuitenkin vähintään 50 m päähän. Ruotsin lupajärjestelmä vuoropuheluineen ja lausuntoineen kuitenkin mahdollistaa sen, että annettu vähimmäisetäisyysvaatimus voidaan pidentää, jos hyväksyttävä liikenneturvallisuustaso sen sallii. Erilaisen infrastruktuurin keskittämistä pidetään myönteisenä.

Ruotsissa tuulivoimaloihin liittyvää etäisyysvaatimusta ei ole erityisesti perusteltu. Mastojen kohdalla on kuitenkin vaaroiksi määritelty maston kaatuminen ja kuljettajan keskitymisen häiriintyminen, jonka johdosta mm. mainosten kiinnittäminen niihin on kielletty. Yleisesti etäisyysvaatimusten perusteena on käytetty putoavia rakenneosia tai kaatuvia rakenteita.

Rautatiet

Tuulivoimala on määritelty sijoitettavan rautatien penkereestä/ajojohtimesta etäisyydelle, joka vastaa voimalan kokonaiskorkeutta, kuitenkin vähintään 50 m päähän. Käytännössä kuitenkin suositellaan meneteltävän etäisyyden osalta siten, että mitataan sijainti lähimmän raiteen keskeltä, koska ratapenkereen rajan määrittely voi olla hankalaa. Käytetty etäisyysvaatimus käytännössä määritellään rautateiden osalta voimalan kokonaiskorkeus + 20 m, kuitenkin vähintään 50 m. (Boverket, 2009).

Ruotsissa mm. savupiipun kaatumisvaara rautatielle Hudiksvallissa vuonna 2007 johti keskusteluun sijoittamiseen liittyvästä suojaetäisyydestä.

3.2.3 Tanska

Maantiet

Vuoteen 2010 asti Tanskassa ylempiluokkaisten maanteiden ja tuulivoimaloiden etäisyysvaatimus oli 4 x voimalan kokonaiskorkeus. Vuonna 2010 astui voimaan ohje, jonka mukaan normaalitapauksissa etäisyysvaatimus on 1,7 x voimalan korkeus, mikä erityisistä syistä sekä tehdyn riskianalyysin perusteella voitaisiin lyhentää 1 x voimalan korkeus. Kesällä 2011 astui Tanskassa voimaan etäisyysvaatimus, jossa Vejdirektoratet määritteli sijoituksen osalta vähimmäisetäisyydeksi 1 x voimalan kokonaiskorkeus. Etäisyysvaatimus voidaan kuitenkin perustelluista syistä johtuen vaatia pidennettäväksi aina 1,7 x voimalan kokonaiskorkeus. Tanskassa tieviranomaisella ei ole tarvetta puuttua tuulivoimalan sijaintiin liikenneväylän läheisyydessä, jos etäisyys on suurempi kuin 1,7 x voimalan kokonaiskorkeus.

Tanskassa etäisyysvaatimus määritellään Vejdirektoratetin 6.2.2012 tekemän päätöksen mukaisesti "byggelinje:stä", joka vastaa Suomen käytössä olevaa maantien suoja-aluetta. Käytetty "byggelinje", jos se on määritelty tarkastelun kohteena olevalle maantiele, sijaitsee moottoriteillä 50–60 m ja muilla pääteillä 25 m tien keskilinjasta.

Tanskassa on 2000-luvulla etäisyysvaatimuksiin liittyvien tarkistusten yhteydessä Danmarks Tekniske universitet:n (DTU) toimesta tehty riskianalyyskejä, joissa on tutkittu voimalan vahingoittumisen ja jään irtoamisen todennäköisyyttä ja vakavuutta sekä kuljettajan keskittymisen häiriintymistä ja näihin liittyvää riskin hyväksyttävyyttä. (Transportministeriet, 2011).

Tuulivoimalan vahingoittumisen kohdalla DTU on todennut, että tuulivoimalan vahingoittumisen yhteydessä osien putoaminen tai itse voimalan kaatuminen on liikenteelle pieni riski, jos vähimmäisetäisyytenä on käytössä 1 x tuulivoimalan kokonaiskorkeus. Lisäksi riskin on todettu pienentyvän etäisyyden kasvaessa. Jään irtoamiseen liittyen, ja sen seurauksena muodostuvaan riskitasoon voidaan kuitenkin todeta, että tietoja Tanskan tuulivoimaloiden jäätymisestä ei ole, mikä DTU:n mukaan johtuu ensisijaisesti siitä, että jäätymisen ei ole ongelma Tanskan ilmastossa. Hyväksyttävään riskitasoon jäätymisen näkökulmasta päästään etäisyydellä 1x voimalan kokonaiskorkeus. Etäisyydellä 1,7 x tuulivoimalan kokonaiskorkeus todetaan, ettei jäätymisen ja jään irtoaminen ole ongelma.

Kuljettajan keskittymisen häiriintymisen osalta DTU toteaa, ettei ole saatavilla tutkittua tietoa, jonka mukaan voitaisiin perustella etäisyysvaatimusta.

Rautatiet

Tanskassa on tuulivoimalan ja rautatien välistä etäisyysvaatimusta muutettu vuonna 2011 siten, että aikaisemmin vähimmäisetäisyydeksi määritelty 1,7 x voimalan kokonaiskorkeus, on muutettu 1 x kokonaiskorkeus. Tanskassa etäisyysvaatimus määritellään ratapenkereen reunasta. Samoin kuin maanteiden osalta viranomaiset eivät näe syytä puuttua tuulivoimalan sijaintiin rautatien läheisyydessä, jos se on enemmän kuin 1,7 x voimalan kokonaiskorkeus.

Perustelut etäisyyksien alentamiseen rautateiden näkökulmasta liittyvät DTU:n tekemään tutkimukseen voimalan rikkoutumisesta ja jään irtoamisesta. Häiriintymisen osalta Bane-danmarkin Signalkommission on todennut, että tuulivoimaloiden pystyttämistä rautatien läheisyyteen ei pidetä ongelmallisena.

3.2.4 Saksa

Maantiet

Saksan liittotasavalta ei ole antanut ohjeita etäisyysvaatimuksiin liittyen, vaan päätäntä-valta on osavaltioilla. Osavaltioiden kaavoituksen ohjeistuksessa on puolestaan määritelty etäisyyksiin liittyvät vaatimukset, jonka lisäksi osavaltioiden tieviranomaiset ovat antaneet erilliset ohjeet vähimmäisetäisyyksistä. Yksittäisissä tuulivoimalalupapäätöksissä on yleensä noudatettu osavaltioiden tieviranomaisten ohjeita. (Bundesministerium Für Wirtschaft und Technologie).

Tieviranomaisten asettama etäisyysvaatimus on kahdeksassa osavaltiossa 1,5 x voimalan kokonaiskorkeus. Kahdessa osavaltiossa etäisyysvaatimukseen vaikuttaa tuulivoimalaan toteutettava jäänestotekniikka. Jos tuulivoimala on varustettu jäänestotekniikalla, sallitaan mm. Baijerissa 1 x voimalan kokonaiskorkeus ja Thüringenissä 300 m etäisyys maantiestä. Saksassa etäisyys mitataan yleensä maantien reunasta lavan ympyrän lähimpään pisteeseen.

Yleisesti osavaltioiden tieviranomaiset ovat pitäneet ongelmana voimalan vahingoittumista ja sen seurauksena mahdollisten osien putoamista maantielle. Saksassa on myös nostettu esiin tuulivoimaloiden tulipaloihin liittyvät ongelmat sekä mahdolliset muut vaarat ja niihin liittyvät seuraukset. Tämä siksi, koska palontorjuntaviranomaisilla ei ole nykyisellään käytössä kalustoa, jolla tulipalo voimalan konehuoneessa voitaisiin sammuttaa. Samoin myös pelastushelikopterin laskeutumismahdollisuuden varmistamiseksi on etäisyysvaatimus huomioitava.

Lisäksi asetettuja etäisyysvaatimuksia perustellaan sillä, että jäänestotekniikan käyttö ei ole pakollista, ja että pystytetylle tuulivoimalalle ei ole olemassa tyyppihyväksyntää, ainostaan sen eri osille, jolloin laadunvarmistus ei ole riittävä etäisyysvaatimusten poistamiseksi. Useissa osavaltioissa voidaan kuitenkin erillisen kohdekohtaisen riskianalyysin perusteella kriittisissä paikoissa poiketa ohjeistetuista suojaetäisyyksistä.

Rautatiet

Rautateiden osalta Saksan liittotasavallan rautatieviranomainen, Eisenbahn-Bundesamt (EBA), on jo vuonna 1999 määrännyt tuulivoimalan sijaintiin liittyen etäisyysvaatimukseksi 2 x roottorin halkaisija (ts. 4 x lavan pituus).

Etäisyysvaatimusten perusteena on käytetty tuulivoimalan kaatumista, tuulivoimalan osien ja jään irtoamista sekä mahdollisuutta salaman iskuun ja sitä kautta voimalan vaurioitumiseen. Lisäksi perusteluissa on mainittu radioliikenteen häiriintyminen sekä ajojoh-

timeen kohdistuva turbulenssi. Raportissa todetaan myös, että kyseiset perusteet etäisyysvaatimuksille ovat osin jo vanhentuneet.

3.2.5 Iso-Britannia

Päätöksenteon desentralisoinnista ja kaavoituksesta vastaava ministeriö Iso-Britanniassa (Community and Local Government, PPS22) on antanut seuraavan yleisohjeen: "Vaikka tuulivoimala rakennetaan parhaan käytettävissä olevan tiedon mukaisesti, on suositeltavaa, että suurimman mahdollisen turvallisuuden takaamiseksi tuulivoimala sijoitetaan ainakin tuulivoimalan kokonaiskorkeutta vastaavan matkan päähän maanteista ja rautateista". (Office of the Deputy Prime Minister, 2004 & Highway Agency, 2009).

Maantiet

Highway Agencyn ohjeissa niin sanotut pienet tuulivoimalat eli voimalat, joissa roottorin halkaisija on korkeintaan 16 m, tulee sijoittaa vähintään etäisyydelle 1,1 x voimalan kokonaiskorkeus. Teolliset tuulivoimalat puolestaan on ohjeistettu etäisyysvaatimuksella, joka on tuulivoimalan korkeus + 50 m. Etäisyys määritellään tiealueen rajasta.

Highway Agency perustelee määrittämäänsä etäisyysvaatimusta maanteihin nähden tuulivoimalan vahingoittumisella ja osien irtoamisella, jään irtoamisella sekä kuljettajan keskittymisen häiriintymisellä. Viitaten PPS22 yleisohjeeseen Highway Agency toteaa, että vähimmäisetäisyyden lisäksi on yleisen turvallisuuden varmistamiseksi otettava huomioon irtoavien osien osumavaaran. Jäätyminen ja jään irtoamisen vaara tunnustetaan yleisesti Iso-Britanniassa, mutta ilmiön todennäköisyyttä pidetään nykyisin pienenä, sillä oletetaan, että useimmissa moderneissa tuulivoimaloissa on jään muodostumista estävää tekniikkaa käytössä, etenkin niillä alueilla, jossa jäätyminen on mahdollista.

Tuulivoimalan aiheuttamaa keskittymishäiriötä ei puolestaan pidetä sen suurempana ongelmana kuin erilaisten maantien lähelle sijoitettavien mainosten mahdollisuutta häiritä kuljettajan keskittymistä. Erityishuomioita on kuitenkin kiinnitettävä turvalliseen sijoittamiseen, jos tuulivoimala tulee näkyviin yllättäen ja sijaitsee erityisen lähellä maantietä näin häiriten yllättäen kuljettajan keskittymistä. Lisäksi turvallisuuden näkökulmasta on pohdittava sijainnin oikeellisuus sellaisen tienkohdan läheisyydessä, jossa kuljettajalta vaaditaan erityistä keskittymistä, kuten mm. monimutkaiset liittymät.

Lisäksi Highway Agency toteaa väkkeen aiheuttamaan häiriöön kuljettajalle, että modernien tuulivoimaloiden rakennusmateriaalit yleensä estävät haitallisen väkkeen esiintymisen.

Rautatiet

Iso-Britanniassa rautatieviranomaisen ei ole määritellyt erillistä ohjearvoa etäisyysvaatimukseksi. Tällöin sijoitettaessa tuulivoimaa rautatien läheisyyteen ovat Community and Local Government ministeriön antamat ohjearvot voimassa, eli tuulivoimala voidaan sijoittaa 1 x voimalan kokonaiskorkeus rautatiehen nähden.

3.2.6 Yhdysvallat

Maantiet ja rautatiet

Yhdysvalloissa etäisyysvaatimuksia koskevat määräykset ovat osavaltio- tai jopa kunta-kohtaisia. Connecticutin osavaltiohallinnolle laaditun yhteenvetoselvityksen mukaan yleis-

set määräykset ovat muutamissa yhdysvaltojen pohjoisissa osavaltiossa seuraavanlaiset (Stanton, 2012):

Illinoissa on säädetty, ettei paikallisissa määräyksissä saa vaatia voimalan sijoittamista kauemmaksi kuin 1,1 x voimalan kokonaiskorkeus mitattuna kiinteistörajalta.

Mainessa yli 100 kW voimalan rakentajan on osoitettava, että etäisyydet ovat riittävät yleisen turvallisuuden ja muodostuvien varjojen osalta. Etäisyysvaatimukset määritellään valtuutetun insinöörin ja voimalan tuottajan ehdotusten perusteella.

Ohiossa etäisyysvaatimukseksi on määritetty vähintään 1,1 x voimalan kokonaiskorkeus mitattuna kiinteistön rajalta. Myös South Dakotassa on käytetty samaa etäisyysvaatimusta.

Utahissa, Wisconsinissa ja Wyomingissa etäisyysvaatimus on vähintään 1,1 x voimalan kokonaiskorkeus kiinteistön rajasta, samoin maanteista ja yleisistä kulkuväylistä.

Muiden osavaltioiden osalta ohjeissa mainitaan seuraavaa:

Californiassa osavaltiotason määräykset koskevat vain pieniä tuulivoimaloita, max 50 kW. Californiassa etäisyysvaatimukset saa suurimmillaan olla 1 x voimalan tornin korkeus, elleivät palomääräykset edellytä suurempaa suojaetäisyyttä.

Delawaren osavaltiossa tuulivoimala on sijoitettava vähintään voimalan 1 x kokonaiskorkeuden päähän kiinteistön rajalta.

New Hampshiren osavaltiossa ei saa määrätä pienille tuulivoimaloille etäisyysvaatimuksia, jotka ovat enemmän kuin 150 % voimalan kokonaiskorkeus.

3.2.7 Kanada, Ontario

Maantiet

Pääteillä (highways) ministeriön ohjeistama etäisyysvaatimus on tiealueen rajalta voimalan kokonaiskorkeus. Muilla maanteilla etäisyysvaatimus on tiealueen rajalta voimalan lavan pituus + 10m.

Kanadassa tuulivoimalan sijoitteluun vaikuttavat ilmasto (jäätyminen), rakennukset, tiet, puut sekä voimalinjat. Myös rakenteellisista vioista johtuvat onnettomuudet otetaan huomioon tuulivoimalan suunnittelussa. (Ministry of energy and infrastructure Ontario, 2009 & Ontario Ministry of Transportation, 2010)

3.3 Case-tarkastelua

3.3.1 Vt 4 Simo, Suomi

Simossa vt:n 4 läheisyydessä on TuuliWatin omistama tuulipuisto, jonka kaksi voimalaa sijaitsee lähellä valtatieta. Tuulivoimapuiston lähin voimala, jonka korkeus on 196 m, on sijainniltaan 310 m tien reunasta. Voimalat on otettu käyttöön loppuvuonna 2011. Huomioitavaa on, että rakennuslupa on saatu ennen Liikenneviraston vuoden 2011 ohjetta, jolloin voimalan vähimmäisetäisyys valtatiestä tulisi olla 500 m. Nykyisellä, Liikenneviraston 2012 mukaisella ohjeella, etäisyys valtatieltä on noin 300 m, joten nykyinen lähimmän tuulivoimalan sijainti on nykyisen Liikenneviraston ohjeen mukaan hyväksyttävä.

Lapin Ely-keskuksen liikenneturvallisuusvastaavan ja aluevastaavan mukaan liikenneturvallisuushaittoja ei ole havaittu käytön aikana.

3.3.2 E4, Brahehus, Ruotsi

Ruotsissa on E4 moottoritien vieressä Grännan kohdalla vuonna 2010 rakennettu 9 voimalan tuulipuisto, jossa lähin 150 m korkea voimala sijaitsee 220 m etäisyydellä moottoritiestä. Omistajan O2 Vindin mukaan lupaprosessin yhteydessä vähimmäisetäisyysvaatimuksesta moottoritiehen nähden ei keskusteltu. Trafikverket Region Syd:n edustajan mukaan mitään vaikutuksia liikenneturvallisuuteen ei ole havaittu.

3.3.3 Highway Agencyn selvitys, Iso-Britannia

Highway Agencyn SSR Safe Road Design Team on vuonna 2007 julkaissut Technical Notes vastauksena kyselyille tuulivoimaloiden vaikutuksesta liikenteeseen. Tiedonannossa todetaan, että tietoa asiasta on kuitenkin rajallisesti. Selvityksessä viitataan Faber Maunsellin Highway Agencyn toimeksiannosta vuonna 2004 tehtyyn ja vuonna 2007 päivitettyyn selvitykseen. Selvitys oli ennen/jälkeen tutkimus, jossa tarkasteltiin onnettomuuksia kolme vuotta ennen tuulivoimaloiden rakentamista ja kolme vuotta niiden käynnistymisen jälkeen. Selvityksen mukaan liikenneonnettomuuksien merkittävää muutosta ei voitu osoittaa. Osana selvitystä tarkasteltiin keskittymisen häiriintymiseen liittyviä onnettomuuksia, mutta näyttöä vaikutuksista ei pystytty osoittamaan.

Safe Road Design Team kuitenkin toteaa, että selvityksen otos on rajallinen ja mm. olettaa, että keskittymishäiriöiden vaikutukset saattavat olla suuremmat vilkkaasti liikennöidyillä maanteilla, joissa ajoneuvojen välit ovat pienemmät. Tekijät suosittelevat tuulivoimaloiden sijoittamista tielinjalle mieluummin kuin liittymään.

3.3.4 E 45 Jyllanti, Tanska

Vuonna 2010 Tanskan ympäristöministeriön laatimassa tutkimusraportissa, Rapport om Afstandskrav mellem vindmøller og veje og jernbaner todetaan, että E45 moottoritien vieressä Jyllannin Randersissa on Vestasin pystyttämä tuulivoimala etäisyydellä 1 x voimalan kokonaiskorkeus. Sen mahdollisista vaikutuksista liikenneturvallisuuteen liittyen ei ole mainintoja.

3.3.5 A 1 Mahndorf, Saksa

A1 autobahnin vieressä Bremenin Mahndorfissa on viiden tuulivoimalan rivi (kuva 7). Tuulivoimalat on toteutettu vuonna 2002. Voimaloiden korkeus on 150 m, ja lähimmät voimalat sijaitsevat 180 m moottoritien reunasta. Voimalat sijaitsevat näin ollen tieviranomaisten yleisiä etäisyysvaatimuksia (1,5 x kokonaiskorkeus) lähempänä, sijaiten lopputilanteessa 1,2 x kokonaiskorkeus etäisyydellä tien reunasta. Tieviranomaisten mukaan tuulivoimaloiden ei ole havaittu lisäävän liikenneonnettomuuksia.



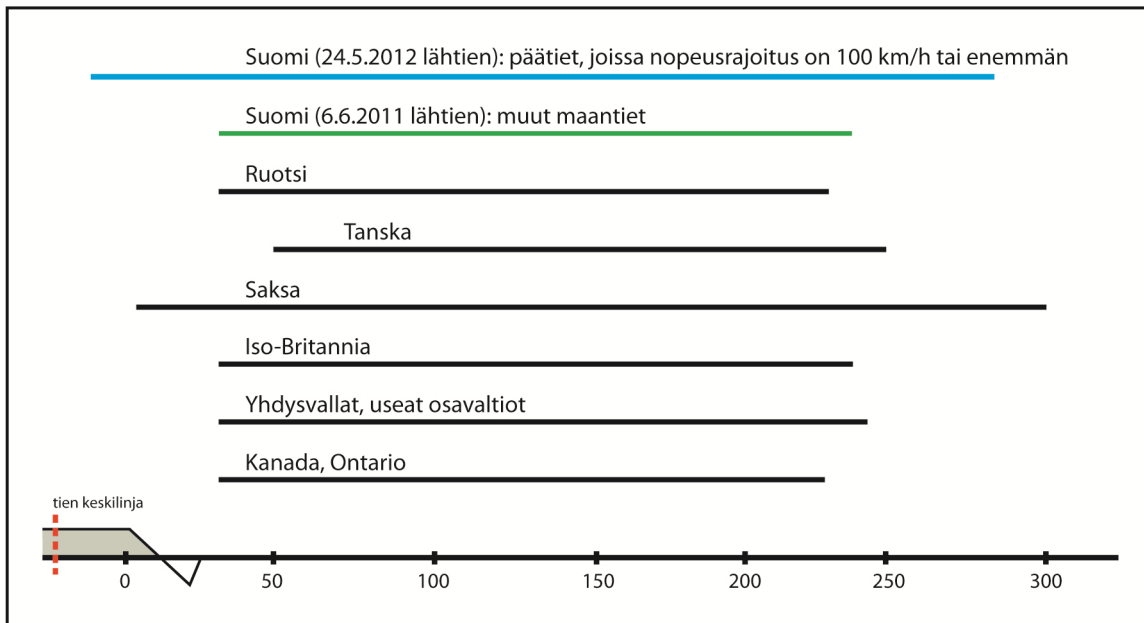
Kuva 7. Mahndorfn tuulipuisto (Autobahn A1, Ki Demske).

3.4 Yhteenveto ja johtopäätökset

Suomessa on Liikenneviraston toukokuussa 2012 tekemän ohjemuutoksen jälkeen samanpituiset etäisyysvaatimukset maanteiden osalta kuin tarkastelluissa vertailumaissa. Nopeuden ollessa 100 km/h tai yli pääteiden kohdalla on Suomen etäisyysvaatimukset ovat hieman muita pidemmät. Tuulivoimaloita saa Ruotsissa ja Kanadan Ontariossa rakentaa lähimmäksi tarkasteltaessa pääteitä. Tämä on merkillepantavaa, koska juuri Ruotsin ja Kanadan olosuhteet – sää ja yhdyskuntarakenne – ovat vertailun kohteena olevista maista eniten Suomen kaltaiset.

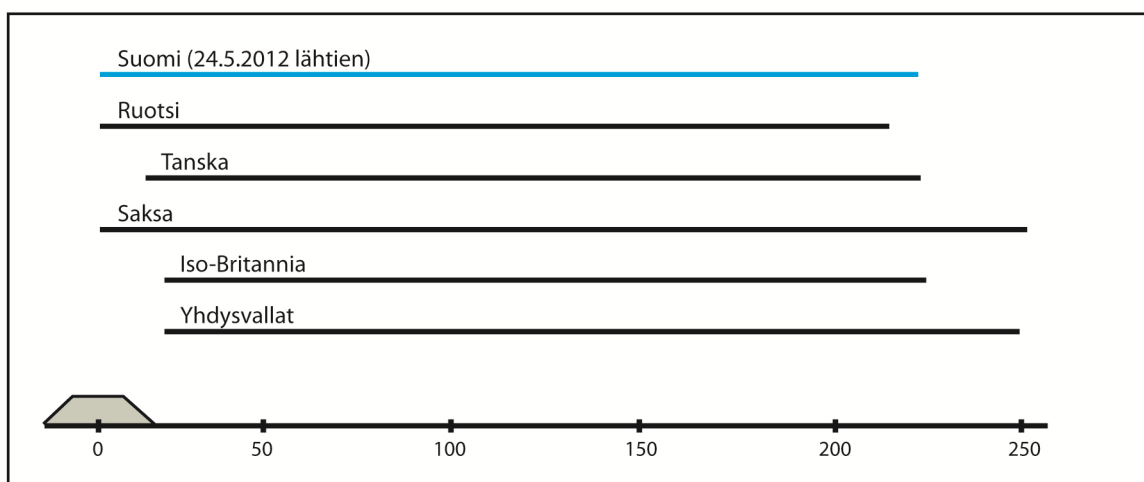
Vertailuissa maissa on vaaroina tunnistettu tuulivoimalan vauriot ja irtoavat osat, lumen ja jään irtoaminen sekä kuljettajan keskittymisen häiriintyminen ja häiriöt. Näistä perustelluista vaaroista määrääviä ovat vaurioituminen ja jään irtoaminen. Muihin maihin verrattuna ainoastaan Suomessa keskittymisongelma on merkittävästi määritellyt etäisyysvaatimusta. Vertailtavissa maissa, joissa keskittymisongelmaa on pohdittu, on todettu, että näyttöä tai tutkimustuloksia asiaan liittyen ei ole saatavilla. Suomea lukuun ottamatta etäisyyttä ei porrasteta nopeusrajoituksen mukaan. Myöskään liikennemäärillä ei ole vaikutusta etäisyysvaatimuksiin.

Ohjeistetut etäisyysvaatimukset maanteille ovat useissa vertailuissa maissa olleet pääosin samat 2000-luvulla. Muutoksia on tehty Tanskassa ja Ontariossa, missä suojaetäisyyksiä on pienennetty (kuva 8). Tästä voi päätellä, että tuulivoimaloihin ei ole tieliikenteen kannalta liittynyt erityisiä ongelmia, joilla pidempi etäisyysvaatimus tulisi perustella.



Kuva 8. Etäisyysvaatimus vertailumaissa pääteillä voimalan torniin, kun voimalan kokonaiskorkeus on 200 m. Saksassa vähimmäisetäisyys mitataan tien reunasta, Suomessa pääteillä keskilinjasta nopeuden ollessa 100 km/h tai yli, Ruotsissa, Iso-Britanniassa, Yhdysvalloissa ja Kanadan Ontariossa tiealueen rajalta. Tanskassa sekä Suomessa muiden maanteiden osalta suoja-alueen reunasta. Tanskassa suoja-alue moottoriteillä on 50 m ja muilla maanteilla 25 m.

Rautateiden etäisyysvaatimukset poikkeavat vertailtujen maiden osalta toisistaan suhteellisen vähän. Lyhin etäisyysvaatimus on Ruotsissa. Suomessa ja Tanskassa etäisyyksiä on pienennetty. Saksassa, missä etäisyysvaatimus on suhteellisen suuri, ohje on jo 20 vuotta vanha ja sitä on yleisesti ottaen pidetty vanhanaikaisena (kuva 9).



Kuva 9. Etäisyysvaatimus vertailumaissa voimalan torniin rautateilla, kun voimalan kokonaiskorkeus on 200 m. Suomen, Ruotsin ja Saksan etäisyys mitataan raiteen keskeltä, muissa maissa rata-alueen rajalta.

4. Meriliikenne

4.1 Suomen vesiliikennejärjestelmä

Suomessa tuotteiden ja tavaroiden tuonti ja vienti on merkittävältä osin merenkulun varassa. Merikuljetusten infrastruktuuri on siten Suomen taloudellisen kehityksen kannalta elintärkeä. Meriliikenteen kulkureitit voidaan jakaa kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n hyväksymiin reitteihin, satamiin johtaviin väyliin, rannikkoväyliin, muihin reitteihin sekä väylien lähestymisalueisiin ja veneilyreitteihin.

IMO:n (International Maritime Organization) hyväksymät reititykset

Itämeren alueen liikenne on viime vuosikymmenten aikana kasvanut voimakkaasti. Öljysatamiin kulkee suuria tankkereita, ja merellä kuljetetaan myös paljon muuta, josta vahingon sattuessa saattaa olla haittaa paitsi alukselle itselleen myös alueen ihmisille ja ympäristölle. Tämän johdosta on IMO vahvistanut reititykset vilkkaasti ja vaikeasti liikennöitäviin kohtiin. Alueiden suunnittelu, käyttö ja merkitseminen perustuvat IMO:n SOLAS –sopimukseen perustuviin ohjeisiin ja suosituksiin (IMO/Ships' Routeing). Näitä ovat mm. Suomenlahden ja Ahvenanmeren reittijakojärjestelmät, ja 1.5.2013 lähtien Merenkurkun reittijakojärjestelmä. Näillä IMO:n reitityksillä on meriteiden säännöissä määrätty liikennesäännöt ja liikennettä ohjataan ja valvotaan viranomaisten toimesta.

Reittijärjestelmään (Routeing system) kuuluvat liikennealueet, muun muassa reittijakojärjestelmät palvelevat laivaliikennettä ulkomerialueilla. Reittijärjestelmien tarkoituksena on ohjata liikenne niille varatuille käytäville sekä tarvittaessa erottaa eri suuntiin kulkeva liikenne omille kaistoilleen ja ohjata risteävä liikenne kulkemaan erikseen merkittyjen risteyskohtien kautta.

Satamiin johtavat ja rannikkoväylät

Suomenlahden, Saaristomeren ja Pohjanlahden matalien rannikkovesien johdosta Suomen satamiin johtaa suhteellisen pitkät merkityt ja usein myös ruopatut väylät. Väylä määritellään seuraavasti: se on päätepisteittensä välille maastoon ja kartalle merkitty yhtenäinen kulkureitti vesialueella. Pääsääntöisesti väylän linjaus muodostuu peräkkäisistä, suorista väylälinjoista ja ne yhdistyvät toisiinsa kaarteilla, jotka ovat ympyrän kaaria. Väylälinja osoittaa ohjeellisen ajolinjan, jonka mukaisesti aluksen on suunniteltu väylällä navigoivan ja ne voivat olla merkitty maastoon linjamerkein. Väylälinja ei välttämättä kulje keskellä väyläaluetta, joka on reunalinjojen rajaama alue (reunat osoitetaan tarvittaessa reunamerkinillä: viitat, poijut, reunamerkit). Suomessa tärkeimpien kauppamerenkulun väylien väyläalue on esitetty myös merikartoilla. Väyläalueeseen kuuluvat myös väylän yhteyteen suunnitellut vesiliikenteen erityisalueet, kuten ankkurointi-, odotus-, kohtaamis- ja kääntöalueet.

Pohjanlahdella olevat väylät ovat 7–13 m syviä ja minimileveydeltään 80–340 m. Suomenlahden väylät ovat 8,9–15,3 m syviä ja minimileveydeltään 80–270 m. Saaristomeren väylät ovat 7,5–15,3 m syviä ja minimileveydeltään 90–221 m.

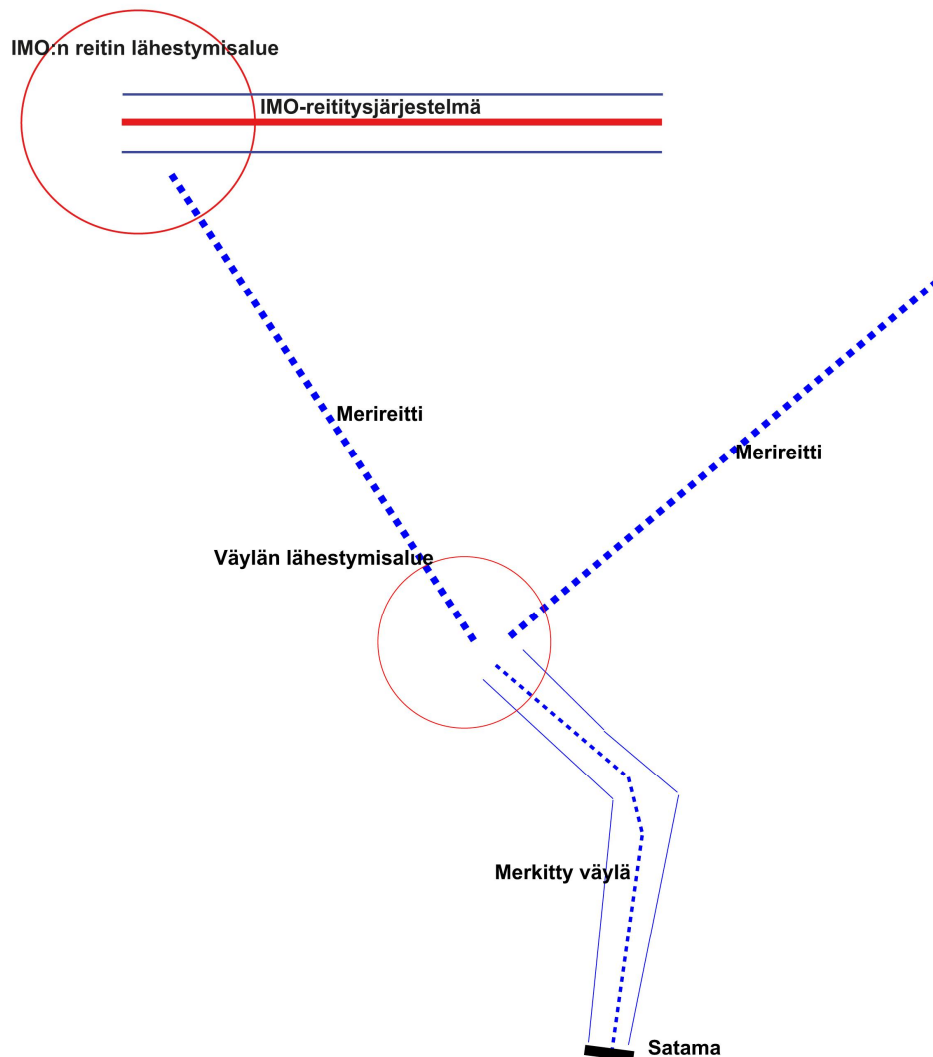
Lisäksi on olemassa ns. valmiusväyliä, jotka ovat poikkeusoloja ja kriisitilanteita varten suunniteltuja kauppamerenkulun ja muun siviili liikenteen väyliä. Valmiusväylä on normaalia aikoina käytettävälle väylälle vaihtoehtoinen reitti, joka voidaan ottaa tarvittaessa nopeasti käyttöön, jos liikenne normaalisti käytettävällä väylällä estyy. Valmiusväylä voi kulkea osin olemassa olevaa väylää ja osin kokonaan muita reittejä pitkin.

Meriliikenteen käyttämät muut reitit

IMO:n reittijakojärjestelmien välillä ja niiltä satamiin on vapaat, määrittelemättömät osuudet, joita alukset kulkevat yleensä lyhintä mahdollista reittiä mahdolliset maat ja matalikot kiertäen. Satamaan, väylän tai IMO:n reittijärjestelmän alkuun voi olla useita reittejä, joiden käytön vilkkaus eroaa toisistaan. Reitin sijainti ei ole määritelty ja merenkulku perustuu normaaleihin meriteiden sääntöihin yhteentörmäyksen ehkäisemiseksi merellä (COLREG).

Väyliä ja IMO:n reittijakojärjestelmien lähestymisalueet

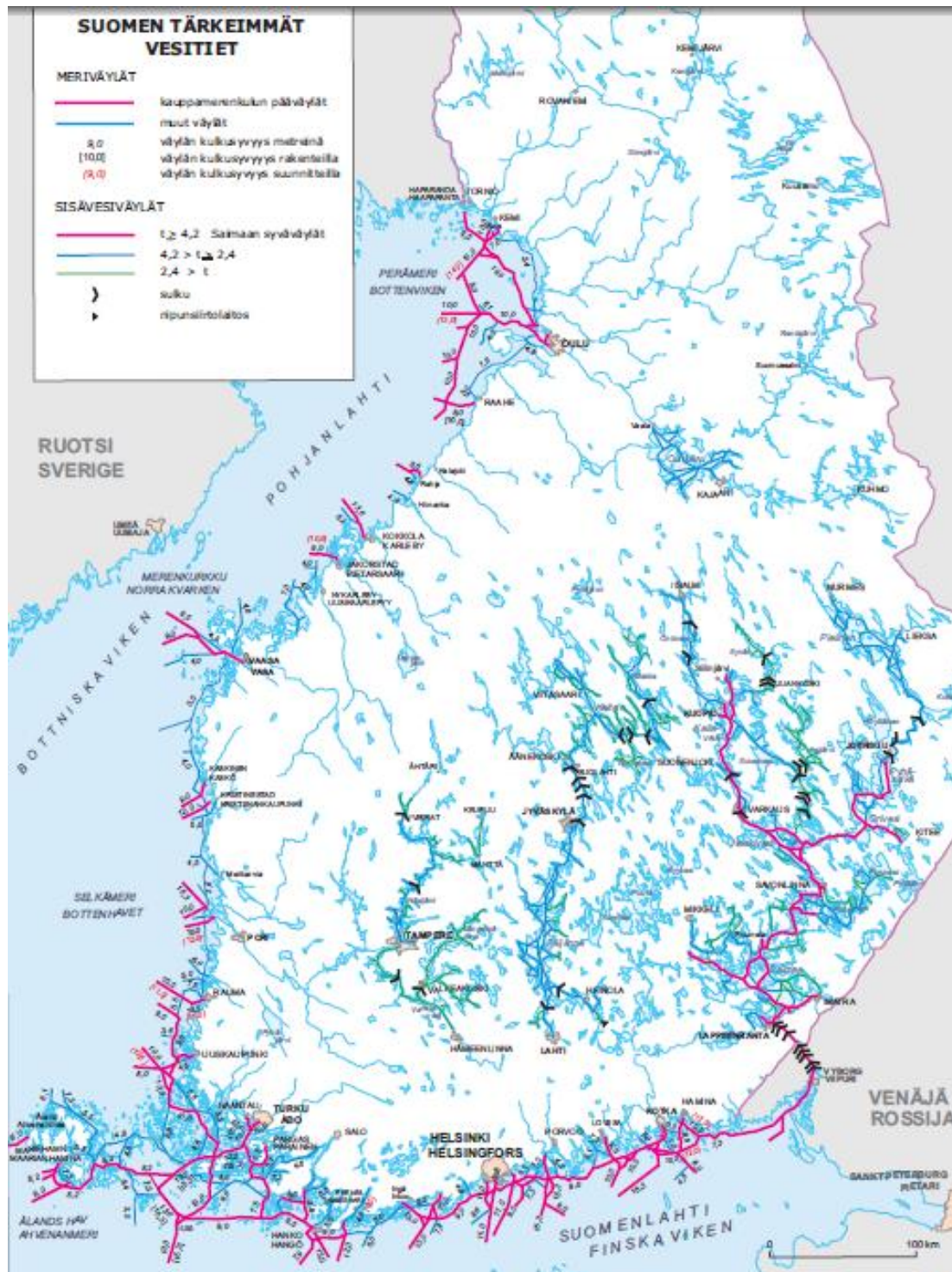
Tuulivoimaloiden sijoituksen kannalta on erityisesti otettava huomioon merkittyjen väyliä ja IMO:n reittijakojärjestelmien lähestymisalueet (kuva 10). Vapaat lähestymisalueet ovat välttämättömät väyliä ja reittijakojärjestelmien saavutettavuuden ja merenkulun järjestelmällisen toiminnan kannalta. Lähestymisalueet mahdollistavat alusten siirtymisen väylille ja reiteille turvallisesti. Lähestymisalueita tai niiden ulottuvuutta ei ole määritelty.



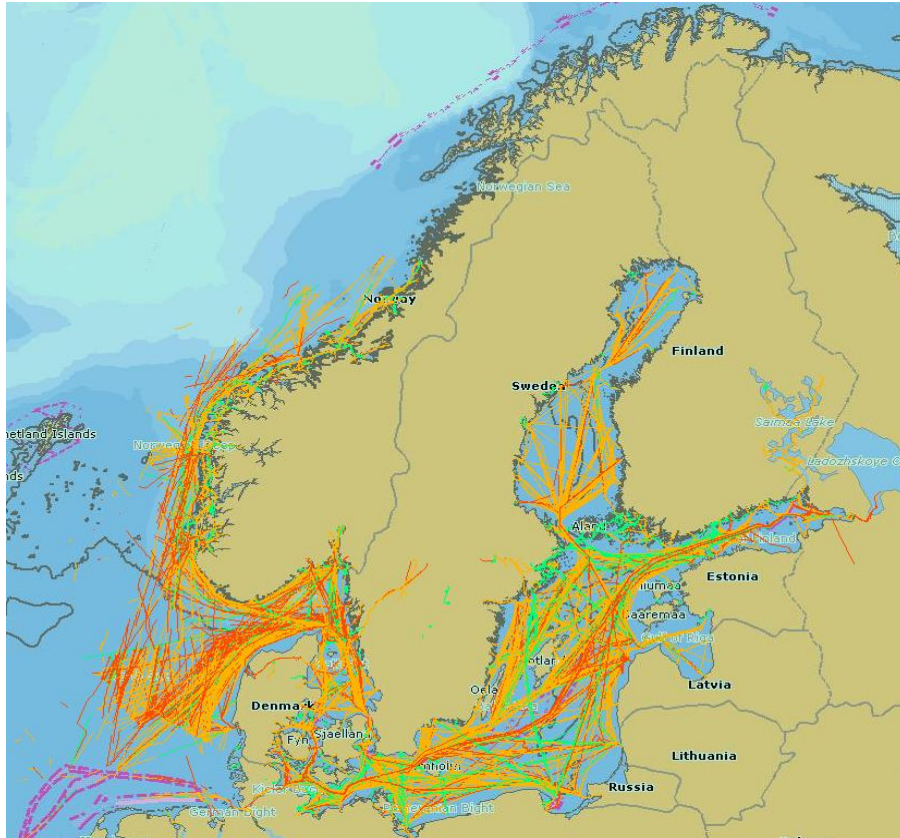
Kuva 10. Merenkulun reitti- ja väylästäjärjestelmän periaatteellinen rakenne.

Venereitit

Venereitti on ensisijaisesti veneilyn käyttöön tarkoitettu alemman luokan matalaväylä (kuvat 11 ja 12). Venereitit kuuluvat yleisiin kulkuväyliin ja niihin sovelletaan edellä mainittuja väyliin liittyviä termejä, määritelmiä ja säädöksiä. Venereiteillä vesisyvyyttä ei ole välttämättä kaikilta osin kattavasti varmistettu, minkä vuoksi venereiteille ilmoitetut kulkusyvyydet ovat vain ohjeellisia.



Kuva 11. Suomen tärkeimmät vesitiet (Liikennevirasto 2012).



Kuva 12. Itämeren merireitit ja -väylät alustyypeittäin (punainen=tankkeri, oranssi=cargo, vihreä=matkustajaliikenne) (Liikennevirasto, 2012b).

4.2 Tuulivoimalat vertailumaissa

Merituulivoimapaistojen sijoittelussa on olemassa valtioiden viranomaistahoilta erityyppiset toimintamallit. Hollanti ja Belgia eivät ole osoittaneet tiettyjä paikkoja, vaan rajoittavat sijoittumista tietyille alueille (laivaväylät, suojelualueet). Tanskassa ja Iso-Britanniassa puolestaan on tutkittu jo valmiiksi merituulivoimatuotantoon parhaimmin soveltuvia alueita. Tosin Hollannissa ja Belgiassakin on kuitenkin pyrkimys jälkimmäiseen menettelytapaan, johon myös tuulivoimatoimijat osallistuisivat jo alkuvaiheessa. Suunnittelun ja luvituksen puolesta Saksalla on erityinen tilanne, sillä siellä 12 merimailin (n. 22 km) etäisyydellä rannasta viranomaistyöskentely on jaettu neljän osavaltion kesken ja lupia on haettava usealta viranomaissektorilta. Monimutkaista menettelyä pyritään kuitenkin yksinkertaistamaan. Muualla luvitusprosessi hoidetaan vain valtion viranomaistahojen kanssa (yleensä elinkeino-, energia- tai ympäristöministeriö) ja ympäristövaikutusten arviointiprosessi vaaditaan. Lisäksi etenkin ensimmäisissä hankkeissa on vaadittu jälkitarkkailua.

Suomessa merialueiden omistus jakaantuu pääasiallisesti meren rannikolla olevien kylien ja valtion kesken. Liikennevirasto huolehtii valtaosasta Suomen vesitieverkon ylläpidosta ja kehittämisestä. Liikenneviraston ylläpitämiä rannikkoväyliä on yhteensä noin 8 200 km ja sisävesiväyliä 8 000 km eli yhteensä noin 16 200 km, joista kauppamerenkulun väyliä on noin 3 900 km. Yleensä kylillä on oikeus vesialueeseen, joka ulottuu viidensadan metrin päähän siitä kohdasta, jossa tavallisen vedenkorkeuden aikana kahden metrin syvyys alkaa. Vastaavaa sääntöä sovelletaan kylille kuuluvien saarten ympäristössä.

Suomessa on yhteisteholtaan merituulivoimaa noin 32 MW, kun Ruotsista puolestaan on noin 164 MW. Ajoksen kymmenen 3 MW tuulivoimalan tuulipuiston voimaloista kaksi on rakennettu matalaan rantaveteen, joihin on tehty kiinteä tieyhteys. Kahdeksan näistä tuulivoimaloista on rakennettu sataman edustan vesialueelle keinosaariin.

Yhteensä Suomessa on käynnissä 16 merituulivoimahanketta, yhteisteholtaan 3028 MW ja Ruotsissa on suunnitteilla noin 20 merituulivoimahanketta. Tanskassa on tällä hetkellä 13 merituulivoimapuistoa (yhteensä noin 870 MW) (kuva 13) ja Iso-Britanniassa on 14 toiminnassa olevaa merituulivoimapuistoa (yhteensä noin 1860 MW). Tämän lisäksi Iso-Britanniassa valmistuu kolme merituulivoimapuistoa vielä vuoden 2012 aikana. Tanskassa rakenteilla / suunnitteilla on kaksi hanketta (Anholt, 400 MW ja Frederikshavn, 6 koevoimalaa) ja Iso-Britanniassa on suunnitteilla tai lupaprosessissa ainakin 14 hanketta. Saksassa on kuusi merituulivoimapuistoa (yhteensä 520 MW), joista kolme on yksittäisiä voimaloita. Saksassa on suunnitteilla kymmeniä merituulipuistoja, joiden sijoittuminen on esitetty kuvissa 14 ja 15.

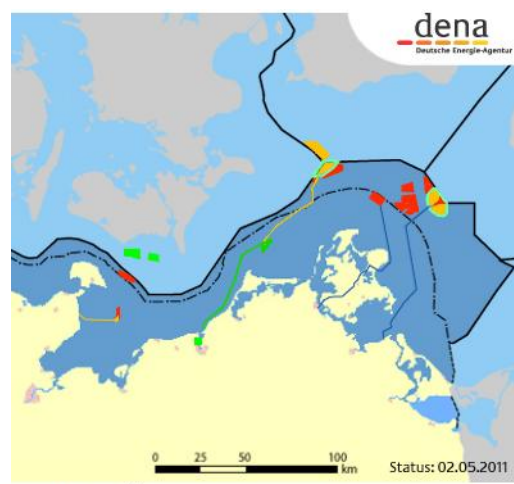
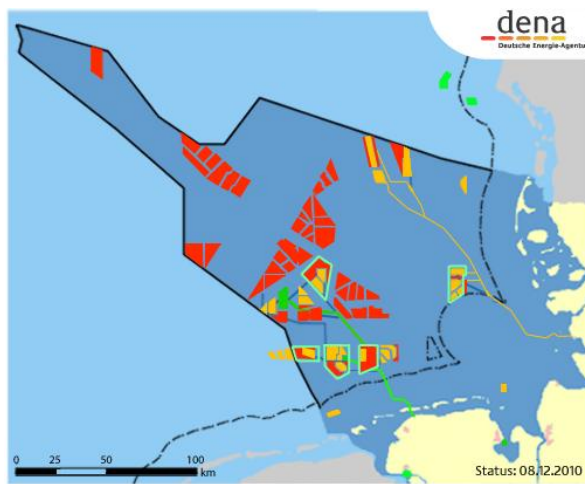
Taulukko 1. Merituulivoimaloiden/-puistojen määrä ja kehitys vertailluissa maissa.

	Nykyiset merituulivoimalat/-puistot	Määrä ja teho (nykyiset)	Kehitteillä olevat merituulivoimahankkeet
SUOMI	Kemi Ajos (2009) Pori offshore I (2010)	10 voimalaa, yht. 30 MW 1 voimala, yht. 2,3 MW	16 kpl, yhteisteho 3028 MW
RUOTSI	Lillgrund (2008) Vänern (2010) Utgrunden (2006) Yttre Stengrund (2001) Bockstigen (1998)	48 voimalaa, yht. 110 MW 10 voimalaa, yht. 30 MW 7 voimalaa, yht. 11 MW 5 voimalaa, yht. 10 MW 5 voimalaa, yht. 2,75 MW	20 kpl
TANSKA	Vindeby (1991) Tunø Knob (1995) Middelgrunden (2000) Horns Rev I (2002) Rønland (2003) Nysted (2003) Samsø (2003) Frederikshavn (2003) Horns Rev II (2009) Avedøre Holme (2009/10) Sprogø (2009) Rødsand II (2010)	11 voimalaa, 5 MW 10 voimalaa, 5 MW 20 voimalaa, 40 MW 80 voimalaa, 160 MW 8 voimalaa, 17 MW 72 voimalaa, 165 MW 10 voimalaa, 23 MW 3 voimalaa, 7 MW 91 voimalaa, 209 MW 3 voimalaa, 10–13 MW 7 voimalaa, 21 MW 90 voimalaa, 207 MW	2 kpl rakenteilla / suunnitteilla (Anholt, yht. 400 MW ja Frederikshavn, 6 koevoimalaa)
SAKSA	BARD Offshore 1 (2012) Alpha Ventus (2010) Baltic 1 (2011) Hooksiel (2008) Breitling (2006) Ems Emden (2004)	80 voimalaa, 400 MW 12 voimalaa, 60 MW 12 voimalaa, 48,3 MW 1 voimala, 5 MW 1 voimala, 2,5 MW 1 voimala, 4,5 MW	"Kymmeniä"
ISO-BRITANNIA	Blyth Offshore (2000) North Hoyle (2003) Scroby Sands (2004) Kentish Flats (2005) Barrow Offshore Wind (2006) Burbo Bank (2007) Beatrice (2007) Lynn and Inner Dowsing (2008) Rhyl Flats (2009) Gunfleet Sands (2010) Robin Rigg (2010) Thanet (2010) Walney (2012) Ormonde (2012)	2 voimalaa, 4 MW 30 voimalaa, 60 MW 30 voimalaa, 60 MW 30 voimalaa, 90 MW 30 voimalaa, 90 MW 25 voimalaa, 90 MW 2 voimalaa, 10 MW 54 voimalaa, 194 MW 25 voimalaa, 90 MW 48 voimalaa, 173 MW 60 voimalaa, 180 MW 100 voimalaa, 300 MW 102 voimalaa, 367 MW 30 voimalaa, 150 MW	"Suunnitteilla/lupaprosessissa on ainakin 14 hanketta. Kolme valmistuu 2012."

Yhdysvalloissa tai Kanadassa ei ole selvitystyön aikana yhtäkään toiminnassa olevaa merituulipuistoa. Suunnitteilla niitä on Yhdysvalloissa kolmisenkymmentä ja Kanadassakin useita. Todennäköisesti Kanadan ensimmäinen 300 MW on suunnitteilla Wolfen saaren lounaispuolelle Ontarijärven itäosaan. Toiminnassa puiston pitäisi olla vuonna 2016. Yhdysvalloissa pisimmällä on Cape Wind -projekti, jota aletaan rakentaa 2013.



Kuva 13. Tanskan offshore- tuulivoimapuistot (Danish Energy Agency 2012).



Kuvat 14 ja 15. Saksan Pohjanmeren ja Baltianmeren käytössä olevat merituulivoimapuistot (vihreä) ja hyväksytyt (oranssi) tai lupaprosessissa olevat (punainen) hankkeet (DENA 2011).

Saksan kaksi suurinta merituulivoimapuistoa on yli 50 km etäisyydellä rannasta yli 28 metriä syvillä vesillä. Etäisyys johtuu osaltaan rantavesien tiheästä liikennöinnistä, maisemavaikutusten vähentymisestä sekä rantavesien käytöstä puolustusvoimien, kalanviljelylaitosten ym. tarpeeseen.

4.3 Käytännöt ja etäisyysvaatimukset

4.3.1 Suomi

Suomessa ei ole määritetty tiettyjä etäisyysvaatimuksia laivaväylille. Voimassa olevissa maakuntakaavoissa on osoitettu joitakin merituulivoimatuotantoon soveltuvia alueita, esimerkiksi Perämerellä Simon, Iin, Haukiputaan ja Raahen edustalla. Lähes kaikilla näillä alueilla on tuulivoimahanke käynnissä.

Liikenneviraston ohjeen mukaan tuulivoimaloita ei tule sijoittaa vahvistetuille väyläalueille tai erillisille ankkurointialueille. Merituulivoimahankkeissa vaaditaan ympäristövaikutusten arviointi (YVA) ja lisäksi vaikutukset tutkien, radionavigointilaitteiden ym. merenkululle tärkeiden laitteiden toimintaan on selvitettävä. VTS-tutkien käyttöön liittyvät ongelmat ja vaikutukset merituulipuistojen läheisyydessä ovat selvittämättä. Myös vaikutukset talvikaudella alustutkiiin jäänavigoinnissa tulisi selvittää. Niiden osalta tarvittaisiin lisää tutkimustietoa ja seurantatietoa käytössä olevien tuulivoimapuistojen osalta. Myös Rajavartiolaitoksen matalalentoreitit on oltava kiinteästi mukana arvioitaessa meriväylien varten sijoitettavien tuulivoimapuistojen turvallisuusvaikutuksia.

4.3.2 Ruotsi

Ruotsissa ei ole esitetty varsinaisia etäisyysvaatimuksia laivaväylille, eikä viranomaisten mukaan yleistä etäisyyttä voida antaa, vaan asia tutkitaan aina tapauskohtaisesti ja vaaditut etäisyydet voivat vaihdella kilometristä jopa kymmeneen. Hankkeen suunnittelun yhteydessä on tehtävä ympäristövaikutusten arviointi ja siihen kuuluu osana navigointiin liittyvien riskien arviointi ja vaikutukset myös alusten tutkajärjestelmiin on huomioitava. Merenkululaitoksen mukaan tutkavaikutukset eivät yleensä ole niin vakavia, että ne estäisivät voimaloiden perustamisen. Yleisesti todetaan, että saariston ja rannikon laivaväylillä ja satamissa voimalat sijoitettava niin etäälle väylästä, ettei merenkulun turvallisuus tai saavutettavuus häiriinny. Merimerkit, majakat yms. eivät saa peittyä tai sekaantua voimaloiden valoihin. Kuitenkin myös ohjausmerkkien siirtäminen tai valaisuksen muuttaminen voi olla toimijan kustannuksella mahdollista.

Lähtökohtana on, että Merenkululaitosta, liikennevirastoa ja satamaviranomaisia on informoitava suunnitteluvaiheessa satamien ja laivaväylien läheisistä suunnitelmista. Maalle perustettavalla voimalalla, joka on yli 20 km päässä rannikosta, ei yleensä ole vaikutusta merenkululle, poikkeustapauksessa turvalaistus voi kuitenkin häiritä majakoiden tms. havainnointia. Myös alle 6 metriä syville merialueille sijoittuvien tuulivoimaloiden osalta riskit ovat yleensä vähäisiä ja siksi myös viranomaishuomio Ruotsissa niiden osalta on vähäisempää. (Boverket, 2009)

Ruotsiin on suunnitteilla suurehko (53 kpl x 5 MW) merituulipuisto Storgrundetiin Söderhamnin kunnan edustalle, 13 km päähän rannasta. Ympäristövaikutusten arviointiselostuksen mukaan hankealueella kulkeva laivaliikenne tulee siirtymään niin, että alukset ohittavat merituulipuiston lähimmillään 1 merimailin (n. 1,9 km) etäisyydeltä. Törmäysriskiä pienentää se, että puisto sijoittuu osittain matalikolle. Riskinarvioinnin mukaan

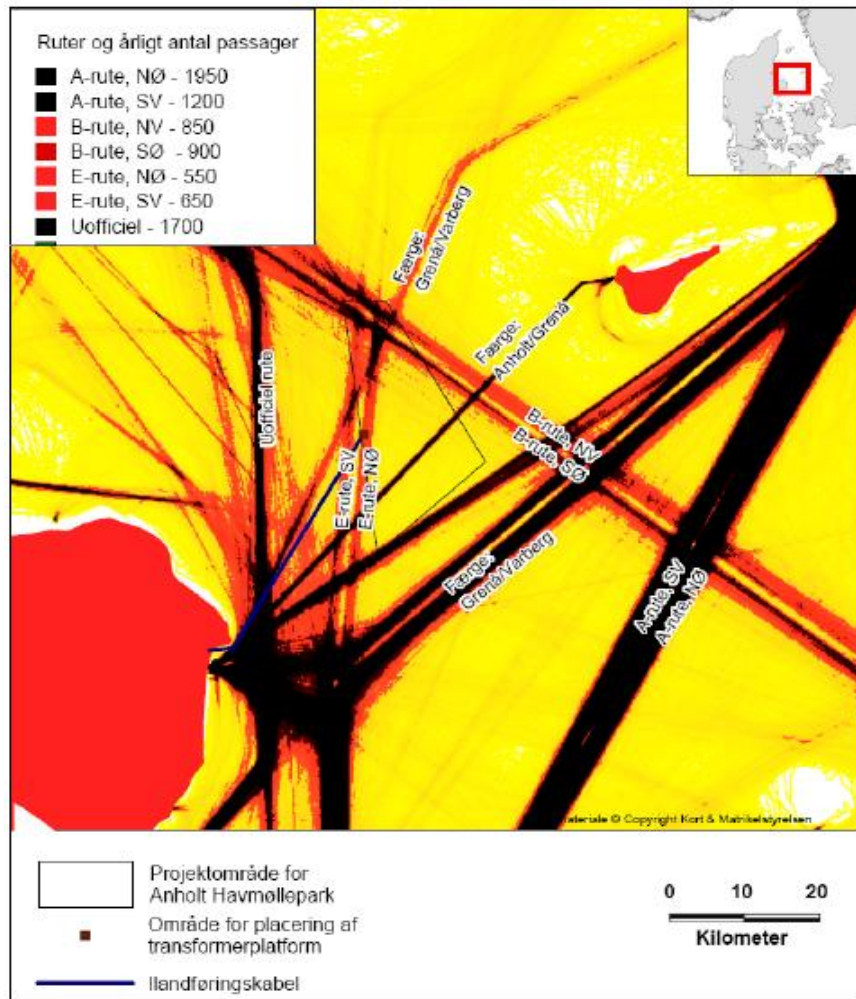
törmäysriski onkin erittäin pieni ja arvioinnin mukaan kokonaisvaikutukset meriliikenteelle ovat vähäisiä. (NordanVind Vindkraft & WPD, 2009)

4.3.3 Tanska

Tanskassa Energiaviranomainen (Energi Styrelsen) luvittaa merituulipuistot. Se myös päättää tarvitsevatko yksittäiset hankkeet ympäristövaikutusten arviointia, joka tehdään yleisesti kaikissa merituulihankkeissa. Arvio sisältää myös merenkulun riskinarvioinnin. Luvitusprosessin käytännöt ovat muovautuneet merituulipuistoista saatujen kokemusten myötä. Viranomaiset arvioivat sijoituspaikkojen soveltuvuutta ja konsultoivat osallisia (kansalaisia, muita viranomaisia ym.). Viranomaiset ovat myös tarkastelleet etukäteen mahdollisia merituulivoimaan soveltuvia sijoituspaikkoja.

Esimerkiksi suurta (noin 95 voimalan) Rødsand II merituulipuistoa suunniteltaessa tehtiin riskinarviointi meriliikenteen osalta. Riskinarviointi suoritettiin IMO:n (International Maritime Organization) virallisen turvallisuusarviointiprosessin mukaisesti. Onnettomuustyyppien identifiointi tehtiin riskin arvioimiseksi ja törmäyksen todennäköisyydet arvioitiin eri skenaarioissa. AIS-järjestelmän (Automatic Identification System) tietoja käytettiin kulureittien, alustyyppien ym. havainnointiin. Arviointi tehtiin nykyisille liikennemäärille sekä myös vuoden 2020 liikennöinnin ennusteelle tuulivoimaloiden käyttötilanteessa sekä seisakkitilanteessa DNV:n (Det Norske Veritas) MARCS (Marine Accident Risk Calculation System) mallilla.

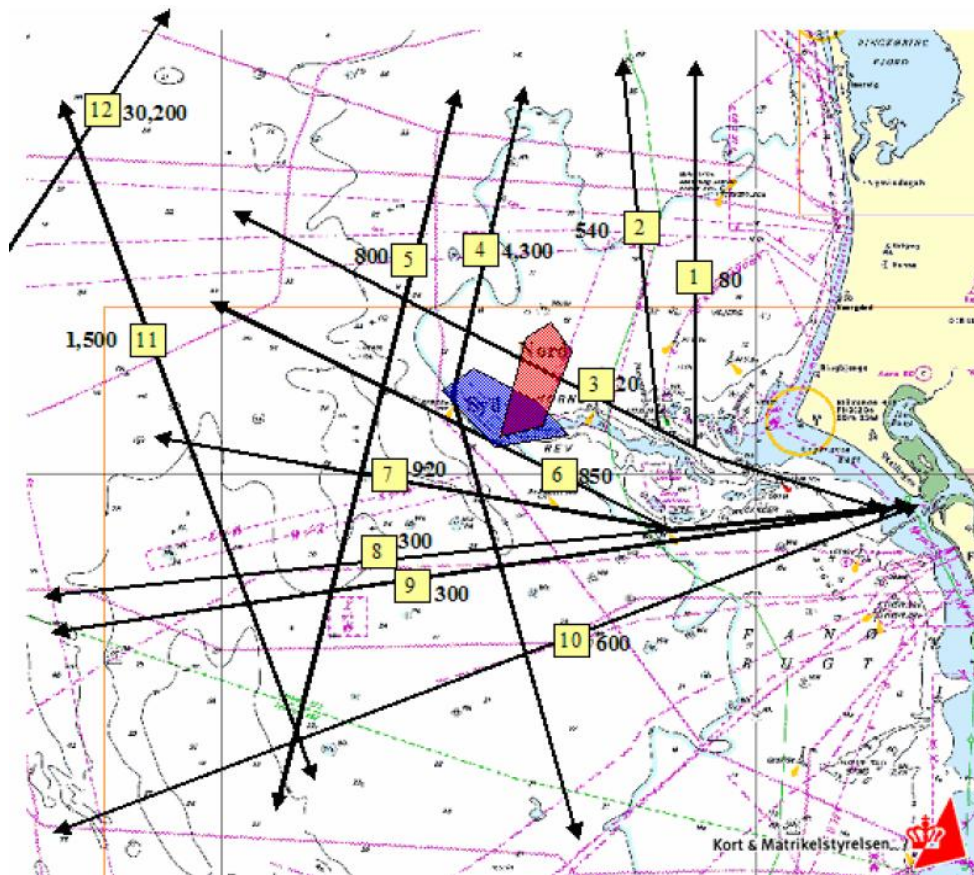
Anholtin suurta 400 MW merituulipuistoa suunniteltaessa tehtiin myös samantyyppiset kattavat riskinarvioinnit. Hankkeen myötä pienempiä laivareittejä siirrettiin siten, että kaikkiin laivaväyliin jäi vähintään 3 merimailin (n. 5,6 km) etäisyys (kuva 16). (Ramboll & Energinet.dk, 2009).



Kuva 16. Anholtin merituulivoimapuiston sijoittuminen suhteessa laivareitteihin. Hankkeen myötä E- ja B-reittejä siirrettiin niin, että kaikkiin laivareitteihin jäi vähintään 3 merimailin (n. 5,6 km) etäisyys.

Horns Rev -merituulivoimapuiston riskinarvioinnissa puolestaan todettiin, että jos valitaan eteläinen hankevaihtoehto, jossa tuulivoima-alue sijoittuu pieniltä osin kahden laivareitin päälle, tullaan laivareittejä siirtämään siten, että laivat ohittavat alueen lopputilanteessa 1 merimailin (n. 1,9 km) päästä (kuva 17). Myös Frederikshavnin merituulivoimalat ovat lähimmillään noin 1 merimailin (n. 1,9 km) päässä laivareiteistä.

Tanskalaisen Horns Rev -tuulipuiston tuulivoimaloiden pyörivien lapojen aiheuttamia tutkavarjoja ei ole käytön aikana havaittu ja alusten on todettu pystyvän erottamaan yksittäiset tuulivoimalat ja läheiset poijut puiston sisälläkin (tyypillinen tutka oli Furunon 24-mailin tutka). Näitä käytönaikaisia kokemuksia on hyödynnetty muun muassa Yhdysvalloissa suunniteltaessa merituulipuistoja, joita ei ole maassa yhtään vielä toiminnassa.



Kuva 17. Kuva Horns Rev tuulivoimapuistoa varten tehdystä meriliikennetietojen arvioinnista. Kuvassa on esitetty laivareitit, joihin tuulipuiston kahdella hankevaihtoehdolla on mahdollista vaikutusta ja niiden vuosittaiset liikennemäärät (Det Norske Veritas, 2006).

4.3.4 Saksa

Merituulivoimapuistojen luvitus on jaettu neljän osavaltion (Niedersachsen, Bremen, Mecklenburg-Vorpommern and Schleswig-Holstein) välillä vyöhykkeellä 0-12 merimailia (0-22 km) rannasta. Lupia tarvitaan mm. pystytykseen, käyttöön, verkkoon kytkentään ja kaapelin vetoihin käytäntöjen ollessa vaihtelevia. Tämän 12 merimailin (n.22 km) vyöhykkeen ulkopuolella on talousvyöhyke (Exclusive Economic Zone, EEZ). Talousvyöhyke voi meriyleisoikeussopimuksen (UNCLOS) mukaan ulottua laajimmillaan 200 merimailin (n. 370 km) etäisyydelle mantereesta. Itämeren alueella talousvyöhyke ei kuitenkaan saavuta minkään maan osalta tätä laajuutta. Talousvyöhykkeellä valtioiden kansallinen lainsäädäntö on osin voimassa ja sitä toimenpanevat Saksassa useat eri viranomaiset, mikä tekee päätöksenteosta monimutkaista. Yli kahdenkymmenen voimalan merituulipuistoille vaaditaan ympäristövaikutusten arviointi.

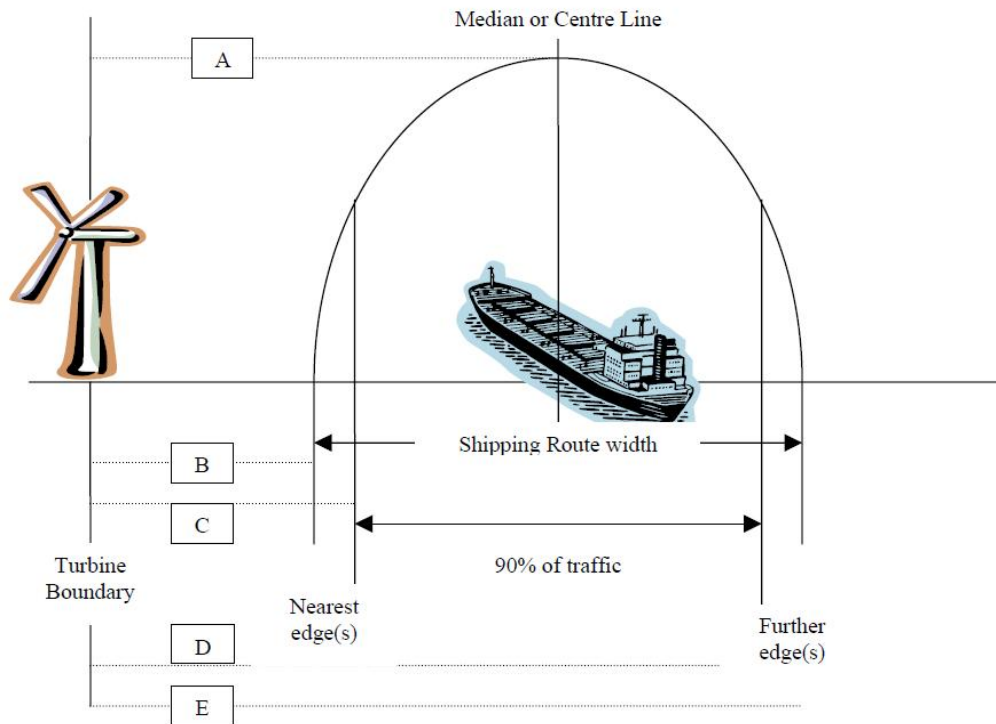
Kaiken kaikkiaan suunnittelussa on huomioitava mm. suojelualueet, luonnonvarojen hyödyntäminen, alusliikenne aluevesillä ja EEZ:illa, vedenalaiset kaapeloinnit ja putkilinjat sekä muun muassa laivaston, kalastajien etu. Varsinaisia suojavyöhykkeitä esimerkiksi laivaväyliin ei ole annettu. Normeja merituulivoimalan suunnitteluun on annettu julkaisussa Standard - Design of Offshore Wind Turbines (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (2007). Julkaisussa keskitytään lähinnä rakenteiden turvallisuuteen ja niiden riskien arviointiin.

4.3.5 Iso-Britannia

Iso-Britanniassa offshore- tuulivoimahankkeet luvittaa elinkeino- ja teollisuusministeriö (Department for Trade & Industry, Energy Policy:n nojalla) ja Crown Estate (merenpohjan omistaja aluevesillä). Paikallisviranomaisia, muita viranomaisia tai muita osallisia (kuljetusala, kalastamot, purjehdusseurat) kuullaan prosessin aikana. Yleisesti vaaditaan ympäristövaikutusten arviointi. Iso-Britanniassa merialueelle tuulivoimaa suunniteltaessa on huomioitava muun muassa seuraavat ohjeet ja määräykset:

- Revised Draft National Policy Statement for Renewable Energy Infrastructure (EN-3)
- Marine Guidance Note MGN 371 (M+F) Offshore Renewable Energy Installations (OREIs) - Guidance on UK Navigational Practice, Safety and Emergency Response Issues
- DTI Guidance on the Assessment of the Impact of Offshore Wind Farms: Methodology for Assessing the Marine Navigational Safety Risks of Offshore Wind Farms.

Maritime and Coastguard Agency on antanut ohjeistuksen merituulivoiman sijoitteluun ja asennukseen liittyen (em. MARINE GUIDANCE NOTE MGN 371 (M+F)), jota tulisi käyttää alustavia vaikutusraportteja (Scoping Reports, SR), ympäristövaikutusten arviointia (Environmental Impact Assessments, EIA) ja lopputuloksena saatavia Environmental Statements (ES) lausuntoja laadittaessa. Ohjeistuksessa on annettu kuvan 18 ja seuraavan taulukon 2 mukaiset lähtökohdat tuulivoimaloiden ja laivareittien välisten etäisyyksien ja niistä aiheutuvien riskien arvioimiseen. On huomattava, että ohjeistuksen mukaan taulukon arvoja voidaan joissakin tapauksissa tiukentaa tai niistä voidaan joustaa suoritettun riskinarvioinnin perusteella.

INTERACTIVE BOUNDARIES

- A = tuulivoimapuiston reunan ja laivaväylän keskilinjän välinen välimatka
 B = tuulivoimapuiston reunan etäisyys lähimmän laivaväylän reunaan
 C = tuulivoimapuiston reunan etäisyys lähimpään 90 % liikennöityyn väylään *
 D = tuulivoimapuiston reunan etäisyys kauimmaiseen 90 % liikennöityyn väylään *
 E = tuulivoimapuiston reunan etäisyys kauimmaisen laivaväylän reunaan
 (* = tai jokin muu määritelty %-osuus)

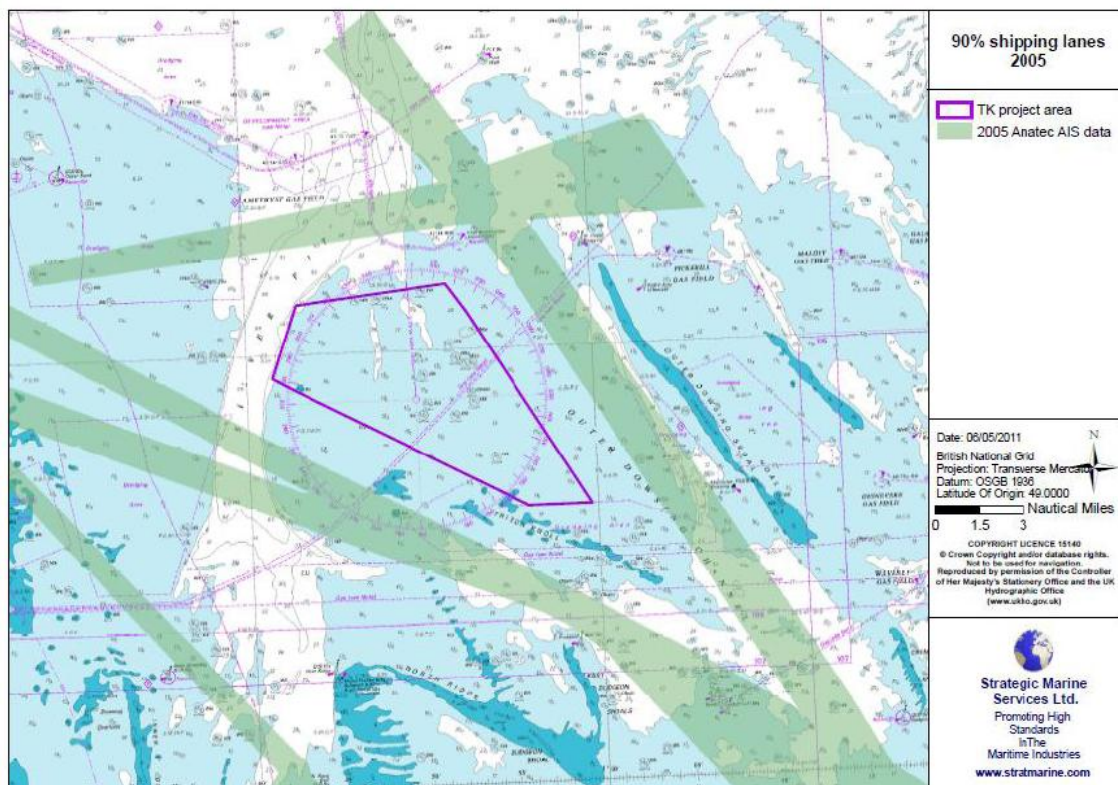
Kuva 18. Kaavio tuulivoimaloiden ja laivareittien välisten etäisyyksien arvioimiseen.

Taulukko 2. Lähtökohdat tuulivoimaloiden ja laivareittien välisten etäisyyksien ja niistä aiheutuvien riskien arvioimiseen.

WIND FARM: “SHIPPING ROUTE” Template			
Distance in miles (nm) of Turbine Boundary from Shipping Route	Factors	Risk	Tolerability
< 0.25nm (500m)	500m inter-turbine spacing = small craft only recommended	VERY HIGH	INTOLERABLE
0.25nm (500m)	X band radar interference	VERY HIGH	
0.45nm (800m)	Vessels may generate multiple echoes on shore based radars	VERY HIGH	
0.5nm (926m)	Mariners’ high traffic density domain	HIGH	TOLERABLE IF ALARP (As Low As Reasonably Practicable)* * Descriptions of ALARP can be found in a) Great Britain Health and Safety Executive (2001) Reducing risks protecting people b) IMO (2002) MSC Circ 1023 dated 5 th April 2002 Formal Safety Assessment c) IMO (2007) MSC 83-21-INF2 Consolidated guidelines for Formal Safety Assessment
0.8nm (1481m)	Mariners’ ship domain	HIGH	
1 nm (1852m)	Minimum distance to parallel boundary of TSS	MEDIUM	
1.5nm (2778m)	S band radar interference ARPA affected	MEDIUM	
2 nm (3704m)	Compliance with COLREGS becomes less challenging	MEDIUM	
>2nm (3704m)	But not near TSS	LOW	
3.5nm (6482m)	Minimum separation distance between turbines opposite sides of a route	LOW	
5nm (9260m)	Adjacent wind farm introduces cumulative effect Distance from TSS entry/exit	VERY LOW	BROADLY ACCEPTABLE
10nm (18520m)	No other wind farms	VERY LOW	

Liverpoolin edustalle sijoittuvan Burbo Bank:in merituulipuiston osalta tehtiin meriliikenteen riskinarviointi (Anatec, 2002). Voimalat sijoittuvat lähimmillään 1,1 merimailin (n. 2 km) päähän laivojen käyttämästä reitistä Queens Channelissa ja 12 340 alusta käyttää sitä vuosittain. Hyvissä olosuhteissa alukset ohittavat puiston vieläkin etäämmältä ja arvioinnin mukaan 1,5-2 merimailin (n. 2,8-3,7 km) ohitusetäisyyttä pidetään yleisesti turvallisena. Tosin 1,1 merimailinkaan etäisyydeltä voimaloiden ei arvioida aiheuttavan muutoksia laivojen reititykseen. Puisto voi vähentää alusten välistä näkyvyyttä Queens Channelin päissä, mutta kyse on kuitenkin useiden kilometrien välimatkasta ja alukset ovat yleensä yhteydessä luotsiin tai satamaan tässä vaiheessa. Vaikutusten ja myös törmäysriskin arvioidaan olevan erittäin vähäisiä.

Triton Knollin merituulivoimapuistoa suunniteltaessa rajattiin hankealue jo lähtökohtaisesti niin, että se piirrettiin tärkeimmistä laivareiteistä (90 % käytetyimmät) 2 merimailin (2,6 km) päähän (kuva 19). Tämä on myös edellä esitetyn Annex 3 of MGN 371 (M+F) -ohjeistuksen suositus. Sillä saadaan vähennettyä merkittävästi meriliikenteeseen kohdistuvia vaikutuksia jo hankkeen alussa. Hankkeen ympäristövaikutusten arvioinnin perusteella jotkin hankealueella liikkuvat alukset joutuvat siirtymään em. ulkopuolisille reiteille 2 merimailin (2,6 km) päähän. Riskinarvioinnin perusteella suositeltuja riskinhallintakeinoja käyttäen tuulivoimapuiston aiheuttamien riskien arvioidaan olevan siedettäviä tai nykyisten onnettomuusriskien suuria. Ilman riskinhallintakeinoja osan riskeistä arviointiin olevan sietämättömiä. Riskinhallintakeinoina hankkeessa käytettiin muun muassa voimaloiden merkitsemistä, suoja-alueen merkitsemistä ja merikarttojen päivytystä. (Strategic Marine Services Ltd, 2011).



Kuva 19. Triton Knollin hankealueen raja (violetti) 2 merimailin etäisyydelle tärkeimmistä laivareiteistä (vihreä) (Strategic Marine Services Ltd, 2011).

4.3.6 Yhdysvallat

Yhdysvalloissa osavaltioiden vesialuetta on vyöhyke rannasta 3 merimailin (n. 5,6 km) päähän. Tämän jälkeen alkaa valtion hallinnoima merialue, joka siis hoitaa myös luvituksen alueellaan (luvittava taho on sisäasiainministeriön Minerals Management Service). Poikkeuksellisia alueita ovat Teksas ja Floridan länsirannikko, joilla osavaltiollinen hallinta ulottuu 9 merimailin (n. 16,2 km) etäisyydelle.

Yhdysvalloissa ei ole vielä yhtäkään toiminnassa olevaa merituulipuistoa, suunnitteilla niitä on kolmisenkymmentä. Pisimmällä ollaan Cape Wind -hankkeessa (130 kpl 130 metrisiä 3,6 MW tuulivoimaloita), joka sijoittuu valtiollisille vesille Massachusettsin Nantucketin lahdelle. Rakennustyöt on tarkoitus aloittaa vuonna 2013. Hankkeessa tehtiin erillinen meriliikenteen riskienarviointi osana ympäristövaikutusten arviointia Yhdysvaltojen rannikkovartioston vaatimana (ESS Group 2003). Arvioinnissa todettiin vaikutusten jäävän vähäisiksi ja törmäysriskin pieneksi, sillä suurin osa hankealueesta sijaitsee matalikolla (alle 30 ft, 9 metriä), jolla ei ole merkittävä laivaliikennettä. Reittiliikenne ohittaa voimalat lähimmillään 0,8 merimailin (n. 1,4 km) päästä, minkä vuoksi vaikutukset siihen arvioitiin erittäin vähäisiksi. Voimaloiden pitkä välimatka 0,34–0,54 merimailia (n. 0,63–1 km) sallii pienempien alusten (alle 74 ft korkuisten, 23 m) navigoimisen alueen läpi. Myös merikarttojen päivitys ja toimivat merimerkit vähentävät vaikutuksia. Tuulivoimapuistoa voidaan käyttää navigoimisen apuna ja reunimmaisiiin voimaloihin asennetaan sireenit, joiden opastuksella pienalukset voivat tarvittaessa navigoida sumussa. Tuulipuistolla ei myöskään arvioitu olevan vaikutuksia meripelastusoperaatioihin, VFH radion toimintaan, laivojen tutkiin tai paikannusjärjestelmiin. Edellä mainittujen vaikutusten osalta käytettiin lähtötietona Tanskalaisen Horns Rev -tuulipuiston käytön aikaisia kokemuksia, jossa merkittävimpänä huomiona on tehty se, ettei toiminnan aikana tuulivoimaloiden pyörivien lapojen aiheuttamia tutkavarjoja ole havaittu. Ja että alukset pysyvät erottamaan yksittäiset voimalat ja läheiset poijut tuulivoimapuiston sisälläkin.

4.3.7 Kanada

Kanadassa ei ole määritelty tarkkoja etäisyysvaatimuksia vesiväyliin liittyen. Myöskään varsinaisia ohjeistuksia riskinarviointiin merituulivoimaloiden vaikutuksista meriliikenteelle ei ole. Hankkeissa on yleisesti tehtävä ympäristövaikutusten arviointi ja siihen on liitettävä omana osuutenaan arviointi navigointiin ja meriliikenteen turvallisuuteen liittyen (SSPA Sweden Ab, 2008). Jos vaikutuksia merireitteihin syntyy, on pyydettävä Navigable Waters Protection Act -lupa (Transport Canada). (Canadian Wind Energy Association, 2007 & Ontario, 2011).

4.4 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tarkastelluissa vertailumaissa ei ole esitetty varsinaisia edeltä määritettyjä etäisyyksiä esimerkiksi laivaväyliin tai -reitteihin liittyen. Riskinarviointi tehdään yleensä tapauskohtaisesti ympäristövaikutusten arvioinnin yhteydessä, jossa tarkastellaan tarkemmin tuulivoimaloiden aiheuttamaa vaaraa meriliikenteelle.

Tehdyissä riskinarvioinneissa yleisesti turvallisena voimaloiden etäisyytenä laivareitteihin pidettiin noin 1-2 merimailia (1,8–3,6 km). Tuolloin merkittäviä tutkavaikutuksia tai törmäysvaaraa ei todeta syntyvän. Joissain tapauksissa etäisyydeksi otettiin 3 merimailia (5,6 km). Muun muassa Tanskan Anholtin hankkeessa pienempiä laivareittejä siirrettiin siten, että kaikkiin laivaväyliin jäi vähintään 3 merimailin (n. 5,6 km) etäisyys riskinarvioinnin perusteella. Liikennöinnin todettiin yleensä siirtyvän vähäisemmin käytetyiltä, alle 1-2 merimailin (1,8–2,6 km) päässä sijaitsevilta reiteiltä tai tuulivoimahankealueiden

sisältä em. 1-2 merimailin etäisyydellä oleville reiteille. Etäisyys mitattiin yleensä lähimpänä sijaitsevasta voimalasta reitin reunimmaiseen ohituspisteeseen tai 90 % liikennöintialueeseen. Useimmiten pienten alusten todettiin voivan tarvittaessa liikkua turvallisesti voimala-alueen sisälläkin.

Muun muassa Tanskassa ollaan esimerkiksi Suomeen verrattuna erilaisessa tilanteessa siinä, ettei merialueilla ole varsinaisia ihmisen tekemiä, ruopattuja väyliä. Ainoa kapeampi reitti on Pohjanmeren ja Kattegatin yhdistävä Limvuono (160 km) ja lyhyempi ruopattu 8 m väylä on myös Drogdenissa Kastrupin ja Saltholmin välissä. (Ramboll & Eneget.dk, 2009 & Det Norske Veritas, 2006 & SSPA, 2008 & POWER & University of Groningen, 2005). Lisäksi Suomessa esimerkiksi satamaan johtavan väylän muuttamisen kustannusvaikutus tai toteutettavuus voi yllättää graniittiperäisen maaperän vuoksi.

Suomen ja Pohjois-Ruotsin talviolosuhteissa merenkulkua pyritään helpottamaan muun muassa hakemalla murrettua jäänkohtaa tutkan avulla. Tuulivoimapuisto voi vaikeuttaa tätä toimenpidettä samoin kuin navigoinnin kohdalla. Tutkimustietoa tai muuta yksiselitteistä tietoa tähän ongelmaan liittyen ei ole selvitystyön aikana löytynyt. Tämän selvityksen puitteissa ei myöskään ollut mahdollista tutkia asiaa tarkemmin. Koska tutkien häiriönsuodatus vaikuttaa ratkaisevasti alusten navigointikykyyn sekä avovedessä että varsinkin jäänavigoinnissa, on perusteltua selvittää tutkahäiriöiden mahdolliset vaikutukset valtakunnallisesti ja tämän jälkeen tarpeen mukaan hankekohtaisesti.

5. Lentoliikenne

5.1 Lentoliikennejärjestelmä

5.1.1 Lentoliikenne ja kansainväliset määräykset

Kansainvälisellä tasolla International Civil Aviation Organization (ICAO) määrittelee ilmailun säännöt. ICAO:n ohjeessa, International Standards and Recommended Practices - Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation (Annex 14), määritetään kansainvälisesti lentoasemien käytettävyyssalueet, lentoestepinnat sekä lentoesteiden merkitseminen.

SES eli Single European Sky (yhtenäinen EU:n ilmatila) lainsäädäntö puolestaan harmonisoi EU- ja EAA-alueen lentämisen sääntöjä. Kansainväliset lentosäännöt ja lennon operatiiviseen ohjaamiseen laaditut ohjeet on tehty turvallisen lentämisen varmistamiseksi. Lentonavigaation ja lentoasemien järjestelmien tehtävänä on varmistaa turvallinen lentäminen eri olosuhteissa.

Lentokenttien lentoturvallisuutta ja sujuvuutta valvovat eri maiden kansalliset lentoviranomaiset tahoillaan. Eri maat laativat kansalliset ilmailumääräykset pohjautuen kansainvälisten määräyksiin ja voivat tarvittaessa tiukentaa niitä.

Käytännöllisesti katsoen EU:n ilmailulainsäädäntö on osin keskeneräinen, ja kansallisten lakien varassa.

5.1.2 Lentoestepinnat ja käytettävyyssalueet

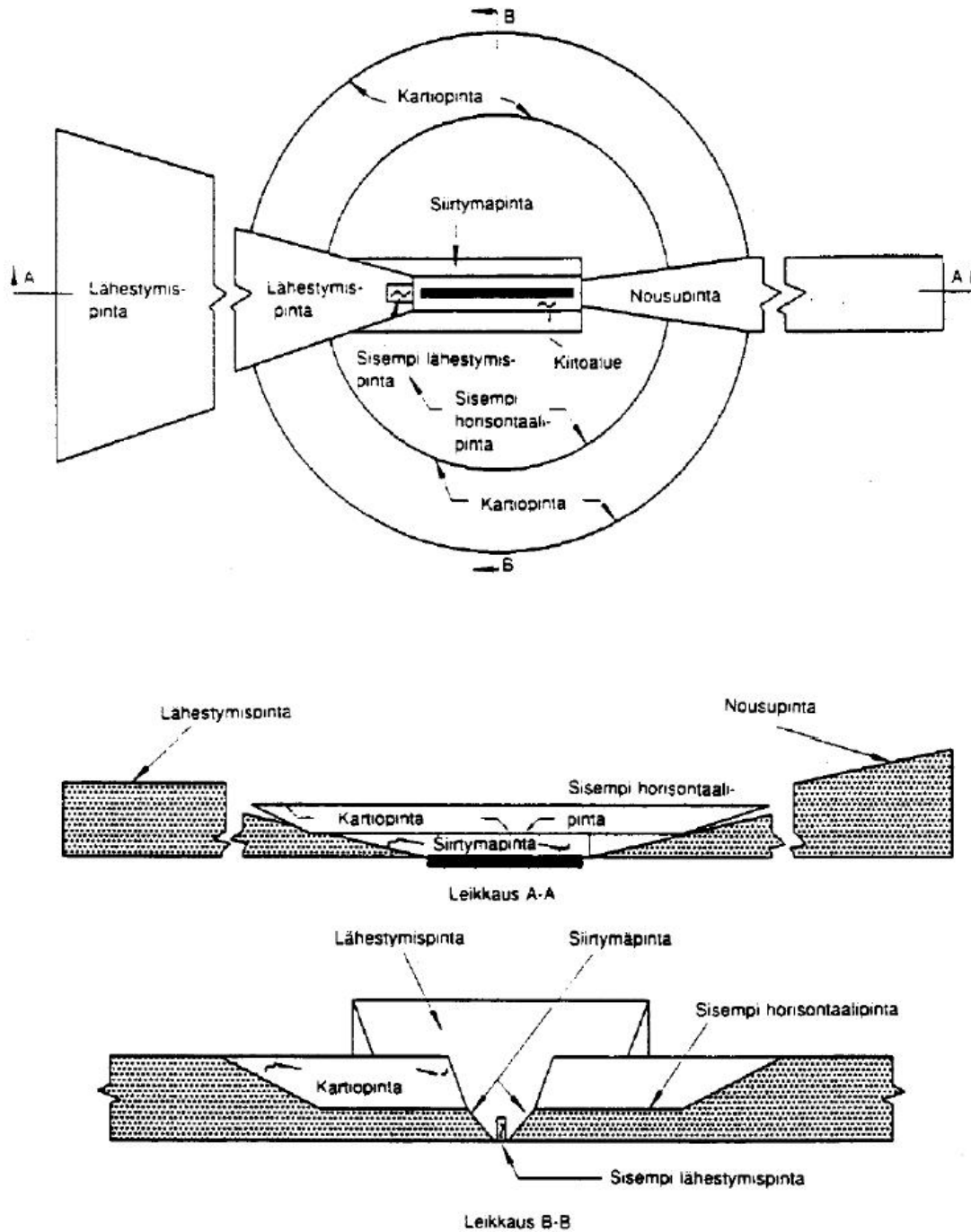
Annex 14:sta on määritetty lentokenttien läheiset lentoestepinnat, jotka ulottuvat suurimmillaan noin 15 km kiitotien päistä ja noin 6 km kiitotien sivuille (kuva 20). Nämä pinnat ovat sivuille kohoavia kartiopintoja. Lentoestepintojen tarkoituksena on erityisesti ylläpitää lentotoiminnan turvallisuutta.

Lentokenttäkohtaisesti on määritelty laajempia käytettävyyssalueita, joiden tarkoituksena on turvata mm. mittarilento- ja lennonjohtotoiminta. Käytettävyyssalueilla edesautetaan lentoliikenteen turvallisuutta, mutta myös etenkin sujuvuutta ja säännöllisyyttä sekä niiden myötä taloudellisuutta. Käytettävyyssalueiden määräytyminen on esitetty ICAO:n julkaisussa Procedures for Air Navigation Services — Aircraft Operations (PANS-OPS) (Doc 8168).

Käytettävyyssalueilla ilmatila on käytännöllisesti katsoen jaettu erityyppisten ilmatilojen kerroksiin, joille on määritetty ala- ja yläkorkeusrajat ja sivurajat. Alimmaisena kunkin lentoaseman ympärillä on sivurajoiltaan pienin alue, jonka päällä on laajempia kerroksia. Käytettävyyssalueiden korkeusrajoitukseen maanpinnasta vaikuttavat mm. lentokentän ympäristössä olevat lentoesteet.

Käytettävyyssalueista eri maat ovat säätäneet määräykset kansallisesti ICAO:n ohjeistuksen mukaan. PANS-OPS:ssa on ohjeistettu mm. MSA-vyöhykkeen korkeuden määrittäminen siten, että se alkaa 300 metriä (n. 1000 ft) alueen korkeimman olemassa olevan lentoesteen yläpuolelta ja se ulottuu 25 merimailin (n. 46 km) säteelle lentoasemasta. Viime kädessä lentokenttäkohtaiset käytettävyyssalueet lasketaan kansallisten ohjeistusten mukaan mm. olemassa olevien lentoesteiden mukaisesti ja ne määritetään lennonjohdon valvontaminimikorkeuskarttoihin (ATC SMAC).

Useimmiten uloin ilmoitettu käytettävyyalue lentoasemilla on MSA - minimum sector altitude, minimisektorikorkeus, joka ulottuu 25 merimailin (45 km) päähän (suunnittelussa 30 merimailin päähän (54 km)) lentoasemasta ja on ympyrän muotoinen. MSA - vyöhyke määrittää minimilentokorkeuden, jota noudattamalla päästään etenemään turvallisesti mahdollisesti vyöhykkeellä sijaitsevien lentoesteiden yli. MSA -vyöhykkeitä voi olla yhteensä neljä lentoaseman ympärillä ja niiden korkeudet voivat erota toisistaan. Käytettävyyalueella varmistetaan lentoturvallisuus, kuten esimerkkitilanteessa, jossa lentokone menettää yhteyden lennonjohtoon. Tällöin lentokone voi turvallisesti edetä sovitulla korkeudella, koska lähempänä lentokenttää olevat käytettävyyalueiden korkeusrajoitukset ovat tiukempia.



Kuva 20. Lentokenttien lentoestepinnat. (AGA M 3-6: lentoestepinnat ja lentoesteiden merkitseminen)

MSA:n lisäksi käytössä on TMA ja FIZ -vyöhykkeet. TMA ja FIZ -vyöhykkeillä puolestaan annetaan lennonjohto- tai lentotiedotuspalvelua. Käytössä olevat termit on kuvattu tarkemmin alla:

- TMA, Terminal control area: On lentoaseman lähestymisalue, joka on valvottua ilmatilaa, jossa lennonjohtaja johtaa liikennettä eli vyöhykkeellä ei saa liikkua vapaasti, vaan vain lennonjohdon ohjeiden mukaan. Lennonjohto vastaa porrastamisesta eli ilma-alusten välisen turvallisenetäisyyden säilymisestä valvotussa ilmatilassa. Valvotun ilmatilan rajat määritellään yleensä kaupallisen lentoliikenteen tarpeiden pohjalta. Tämä liikenne käyttää ns. mittarilentosääntöjä eli navigointi tapahtuu mittarinäyttämien perusteella. Käytännössä kaupallinen lentoliikenne on aina lennonjohtopalvelun alaista ns. johdettua liikennettä ja se pysyy valvotussa ilmatilassa.) Sotilaskenttien ympärillä on sotilaskenttien lennonjohtoalue MIL CTA (Military Control Area).
- FIZ, Flight Information Zone: Lentotiedotusvyöhyke, jolla annetaan lentotiedotuspalvelua. Näillä lentoasemilla ei ole lennonjohtoa. Tällaisia lentopaikkoja ovat mm. Kittilän, Kuusamon, Mikkelin, Savonlinnan ja Varkauden lentopaikat. AFIS-palvelu (Aerodrome Flight Information Service, lentotiedotuspalvelu) on järjestetty IFR-lentoliikenteen (mittarilentoliikenne) turvaamiseksi lentoasemilla, joilla lennonjohtopalvelun antamista, vähäisestä samanaikaisesta liikenteestä johtuen, ei ole katsottu tarpeelliseksi. Palvelun antamisesta vastaa tehtävään koulutettu lennontiedottaja. AFIS-lentoasemilla ja sitä ympäröivässä ilmatilassa ilma-aluksille annetaan liikennetiedotuksia FIZ-vyöhykkeellä. Liikennetiedotusten tarkoitus on aikaansaada sujuva ja turvallinen lentoliikenne.
- MSA, Minimum Sector Altitude: Mittarilentomenetelmiin liittyvä minimisektorikorkeus. Se on alin käyttökelpoinen korkeus merenpinnasta, joka takaa vähintään 300 metrin (984 jalan) estevaran kaikkiin kohteisiin (lentoesteisiin) ympyrän sektorissa, jonka säde on 46 km (25 merimailia) (suunnittelussa 56 km (30 merimailia) säteellä ja keskipiste on (yleensä) radiosuunnistuslaite). Minimisektorikorkeutta noudattamalla lentoaseman ympärillä päästään siis kaikissa olosuhteissa etenemään turvallisesti lentoesteiden yli.

5.1.3 Lentotoiminnan turvallisuus, sujuvuus, ekologisuus ja taloudellisuus - lentoesteet

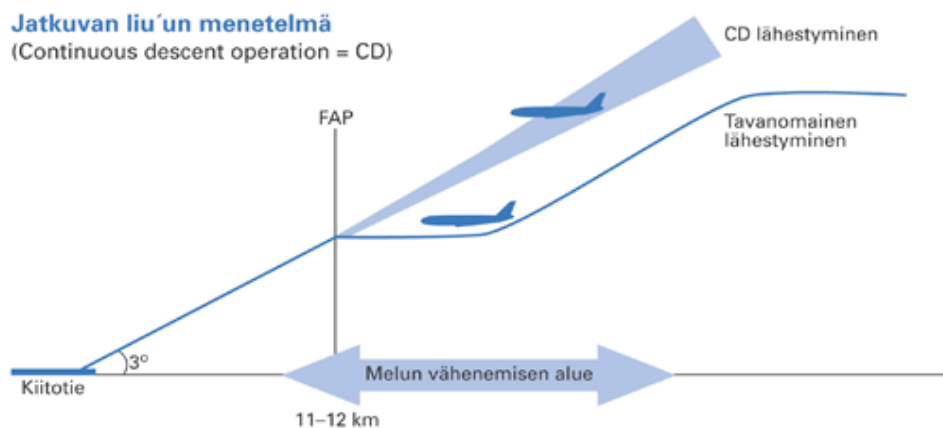
Lähtökohtana ilmailuliikenteessä on, että lentoestepintojen ns. kartiopintojen alapuolelle voidaan rakentaa, siten ettei lentoestepintoja puhkaista. Poikkeustapauksissa joitakin pintoja voidaan puhkaista, jos kyetään osoittamaan, että ko. kohteeseen toteutettava lentoeste ei heikennä lentoturvallisuutta tai merkittävästi vaikeuta lentotoiminnan sujuvuutta.

Tuulivoimalat ovat korkeita rakennelmia, jotka luetaan lentoesteiksi, ja joiden pystyttämisestä saattavat rajoittaa lentokenttien ympärille lentoturvallisuuden ja sujuvuuden vuoksi määritetyt lentoesterajoitukset. Lentoesteen määritelmä ei tule ainoastaan kohteen sijainnista riittävän lähellä lentoasemaa, vaan siihen vaikuttaa myös rakenteen korkeus. Kaikki yli 100 m rakennekorkeuden ylittävät rakenteet ovat ICAO:n säännösten mukaan "huomattavia lentoesteitä" sijainnista riippumatta ja niiden tiedot on julkaistava ilmailuliikenteelle. Huomattava lentoeste kaukana lentoasemasta voidaan joutua merkitsemään ja sen sijaintitiedot julkaisemaan, mutta sen korkeutta ei sinällään välttämättä rajoiteta.

Edellisessä osiossa kuvatuilla käytettävyyalueilla on vaikutusta lentoturvallisuuden lisäksi myös lentotoiminnan sujuvuuteen, ekologisuuteen ja taloudellisuuteen. Eli jos lentoeste rakennetaan myöhemmin määritetylle käytettävyyalueelle, se voi aiheuttaa mini-

misektorikorkeuden kasvamisen. Näiden käytettävyyssalueiden korkeuksien korottaminen lentoesteen rakentamisen vuoksi voi puolestaan muuttaa lentokenttien lähestymissuuntia tai jyrkentää laskeutumiskulmia.

Lentoasemilla on yleisesti myös pyrkimys vihreiksi lentoasemiksi mm. merkittävillä päästöjenleikkaustavoitteilla, joihin pyritään muun muassa kehittämällä lennonjohtomenetelmiä ja lentoreittejä siten, että lentoliikenne sujuu mahdollisimman joustavasti ja viiveetömästi. Ilmatilan ja kenttäalueen tehokas käyttö vähentää turhia rullauksia, odotuksia ja moottoreiden tyhjäkäyntiä sekä lento- että maaliikenteessä. Tähän liittyen myös Suomessa Finavialla on ollut jatkuvan liu'un lähestymisen kehityshanke (CD=Continuous Descent), joka tähtää ympäristöystävällisempien lentotapojen yleistymiseen. CD eli jatkuva liuku on sitä, että lentokoneen lentoreitti ja lentoprofiili optimoidaan niin, ettei tarvetta vaakalento vaiheelle ole ennen liukua (kuva 21). Myös tehon käyttö ja hidastuminen on optimoitu niin, että melu sekä polttoaineen kulutus vähenevät. Parhaimmillaan lähestymisvaiheen päästöjä voidaan vähentää 10–30 % ja melu vähenee.



Kuva 21. Jatkuvan liu'un menetelmä verrattuna tavanomaiseen lähestymiseen. (Finavia, 2012b)

5.2 Este-etäisyydet eri maissa

5.2.1 Suomi

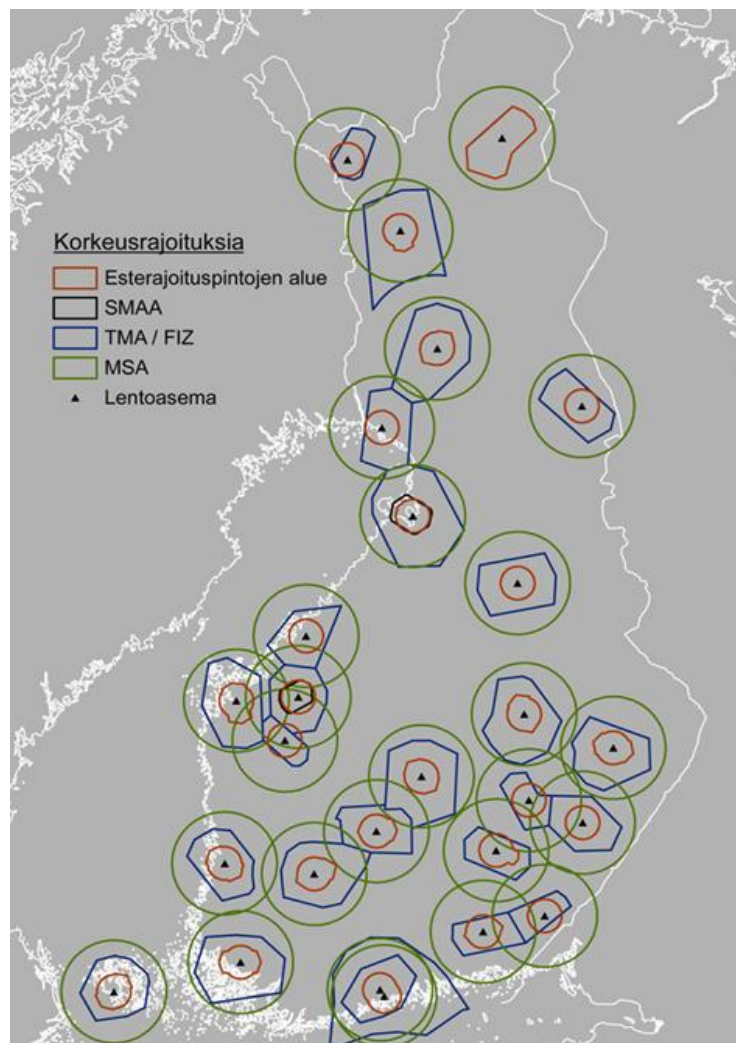
Lentoesteistä on säädetty Ilmailulain 165 §. Ilmailulain mukaan tuulivoimalan rakentaminen edellyttää lentoestelupaa, jos se sijaitsee lähellä lentokenttää tai jos sen korkeus ylittää 60 m. Lentoesteluvan myöntää siis Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi kuultuaan ilmaliikennepalvelujen tarjoajaa (Finavia). Jos liikenneturvallisuus ei vaarannu, Trafi voi myöntää lentoesteluvan tuulivoimalalle. Lupa on myönnettävä, jos luvan epääminen aiheuttaisi maanomistajalle tai siihen kohdistuvan erityisen oikeuden haltijalle kohtuutonta haittaa verrattuna esteestä aiheutuvaan haittaan lentoliikenteen sujuvuudelle.

Suomessa lentoasemien lähellä on Annex 14 mukaiset esterajoituspinnot (kartiomaiset), kiitoteiden suuntaan noin 15 km ja sivuilla 6 km. Suomessa käytettävyyssalueista tiedot löytyvät ilmailukäsikirjasta: AIP - Aeronautical Information Publication ja lentoasemakohtaisesti lennonjohdon valvontaminimikorkeuskartasta ATC SMAC (ATC surveillance minimum altitude chart). AIP:n tarkoituksena on mahdollistaa lennonjohtajan määräämien korkeuksien valvonta ja tarkistus. Finavia puolestaan on julkaissut paikkatietomateriaa-

lin, jossa kuvataan Suomessa lentoestelausunnon yhteydessä tutkittavat käytettävyyssalueet (kuva 22). Alueille ilmoitetaan suurimmat mahdolliset rakentamiskorkeudet (metriä merenpinnasta).

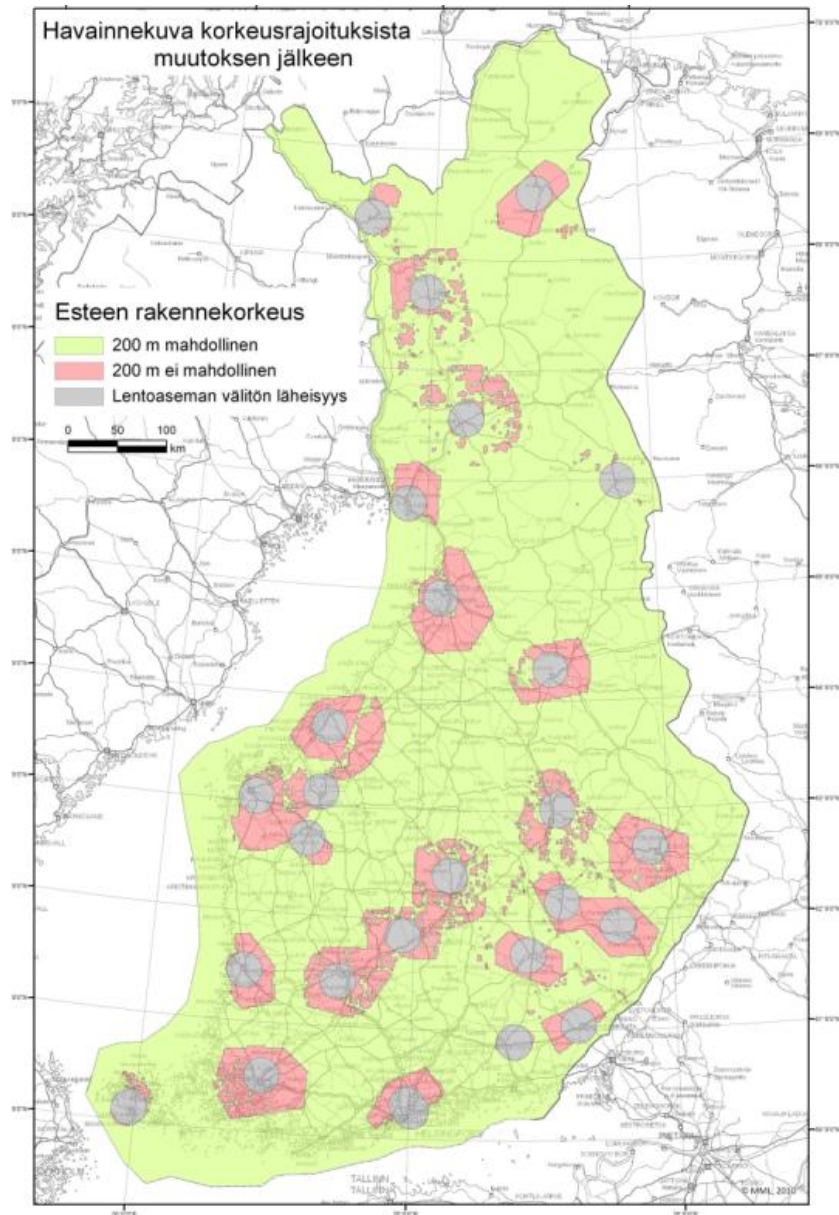
Maanteillä sijaitsevat varalaskupaikat rajoittavat voimaloiden sijoittamista 12 km säteellä varalaskupaikan keskipisteestä. Alueelle sijoittuvista tuulivoimalahankkeista ja muistakin hankkeista on pyydettävä lausunto Puolustusvoimilta.

Liikenteen sujuvuuteen vaikuttavien MSA-käytettävyyssalueiden korkeudet määritellään, kuten aikaisemmin on todettu, olemassa olevien lentoesteiden perusteella. MSA-alueet ulottuvat 30 merimailin (56 km) etäisyydelle lentoasemasta. Lentoliikenteen kannalta lähestymispinnan alkukorkeus, 150 m on kriittinen. Käytettävyyssalueilla voidaan lentoestelupa myöntää jos vaikutus lentoliikenteeseen on vähäinen. Näiden alueiden ulkopuolella ei yleensä ole esteitä lentoesteluvan myöntämiselle. Lentoestepintoja joudutaan yleensä muuttamaan tapauksissa, joissa tuulivoimala vaikuttaa lentoliikenteen sujuvuuteen.



Kuva 22. Käytettävyyssalueet ja lentoesterajoitukset Suomen lentoasemien ympärillä. (Finavia, 2012a)

Esimerkkinä alla olevassa kuvassa (kuva 23) on tarkasteltu mahdollisuuksia rakentaa 200 m korkea tuulivoimala (punaisella ja sinisellä värillä alueet, joille yli 200 metristä voimalaa ei ole mahdollista sijoittaa).



Kuva 23. Mahdolliset rakennusalueet alle 200 m tuulivoimalalle (vihreä). (Finavia, 2011)

Kuvassa 24 esitetään Trafín kokoama tilastotieto lentoestelupien käsittelyn tilanteesta elokuussa 2012. Lentoestelupien määrä on Suomessa yli kolminkertaistunut vuodesta 2010 lähtien.

Tilastoja tuulivoimasta



- Tähän päivään mennessä rakennettuja n. 150 kpl
 - Luvatunnossa (korkeimmat 225m, rakentaminen kesken)
 - Lisäksi 100 myönnettyä lupaa vuosina 2005...2009
- 2010 tuulivoimalupia haettu 63 kpl / myönnetty 63 kpl
 - Kolmen voimalan korkeutta rajattu 1... 15 metriä, yhtä siirretty 0,5 km
 - Korkeimmat 195 m => vaikutusta sujuvuuteen kahdessa tapauksessa
- 2011 tuulivoimalupia haettu 76 kpl / myönnetty 74 kpl
 - Kaksi käsittelyä kesken hakijan pyynnöstä Kittilässä
 - Korkeimmat 200 m => vaikutusta sujuvuuteen kuudessa tapauksessa
- 2012/8 tuulivoimalupia haettu 296 kpl
 - Lupa on myönnetty hakemuksen mukaisena 243 kpl
 - Lupa on myönnetty vähäisin rajauksin hakemuksesta poiketen 0 kpl
 - Lupaa ei ole myönnetty tai lupa on myönnetty merkittävästi hakemuksesta poiketen 1 kpl
 - Lausunnossa korkeus rajattu 57 kpl
 - Myönnettyissä luvissa vaikutusta sujuvuuteen on ollut 39 kpl
 - Lupakäsittelyjä on kesken 52 kpl (kaikilla vaikutusta sujuvuuteen), lisäselvitykset pyynnissä
 - Korkeimmat 230 m

4.9.2012

LIIKENTEEN TURVALLISUUSVIRASTO

21

Kuva 24. Trafin kokoamaa tilastotietoa lentoestelupien käsittelystä elokuussa 2012.

5.2.2 Ruotsi

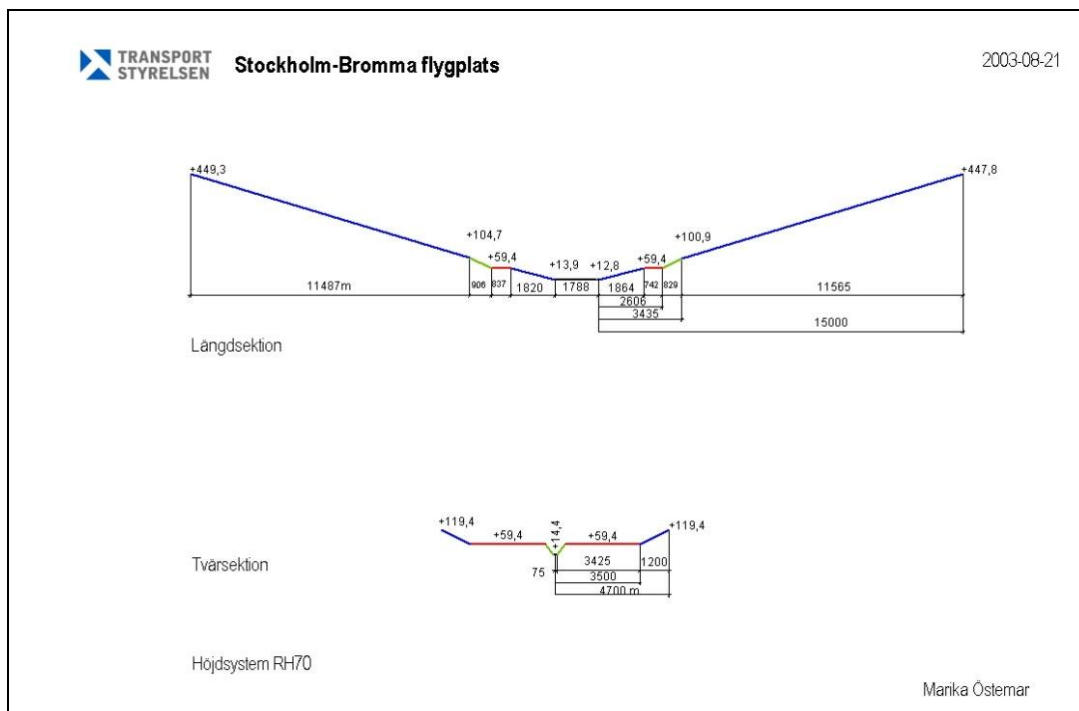
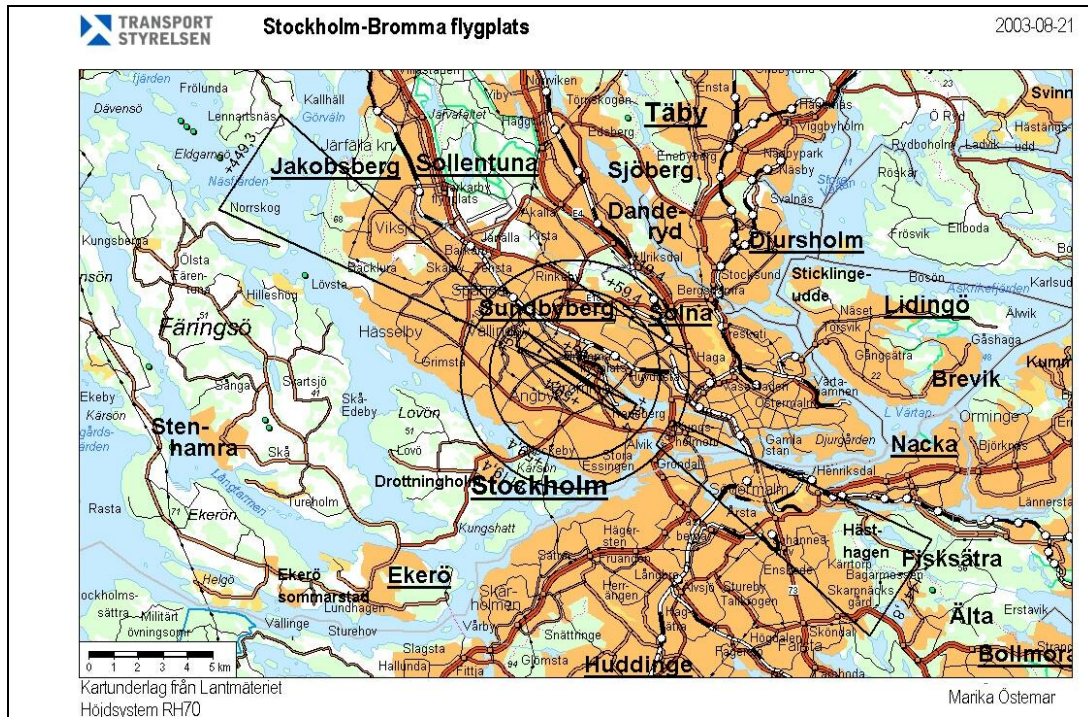
Lentoesterajoitusalueet lentokenttien läheisyydessä määritellään lentokentän kiitotien koon ja luokan mukaan ja rajoitusalue on yksilöllinen jokaiselle kentälle (Ruotsin ilmailuhallinnon määräykset ovat Annex 14 mukaiset). Ne ovat laajimmillaan 15 km kiitoradan suuntaisesti ja 6 km kiitotien sivuille.

Seuraavissa kuvissa (kuvat 25 ja 26) on esitetty nämä alueet Tukholman Bromman lentokentälle. Näillä alueilla rakennelmien korkeus ei saa ylittää rajoittavia korkeuksia. Lentokenttien ympärillä uloimmat lentoliikenteen sujuvuuteen vaikuttavat käytettävyyalueet (MSA) ulottuvat suunnittelussa 30 merimailin (54 km) päähän lentokentästä (käytössä 25 merimailin päähän (45 km)). Muutamia kertoja näiden käytettävyyalueiden korkeuksia on muutettu, jotta tuulivoimalan rakentaminen on voitu sallia niiden alueella. Muutokset ovat olleet noin 100–300 ft (30–90 metriä) MSA -korkeuksiin ja niitä on tehty mm. Kramforsissa, Uumajassa ja Trollhättanissa.

Käytettävyyalueet eivät siis automaattisesti sulje pois tuulivoimaloita, vaan asia ratkaistaan vasta osallistumismenettelyssä ja vaikutusten arvioinnissa. Viranomaisten mukaan tuulivoimalan rakentaminen ei vaikuta tuolloin turvallisuuteen, koska järjestelyt muutetaan vastaamaan uutta tilannetta. Sen sijaan tuulivoimala voi heikentää tai jopa vaarantaa lentokentän toimivuutta, jos ohjausjärjestelmiä ei pystytä järjestämään kaikissa olosuhteissa toimiviksi. (Trafikverket, 2012)

Ruotsissa Ilmailuhallinto valvoo myös radioasemia, navigointiapuvälineitä, tutka-asemia ym. ja tuulivoimaloiden vaikutusta niihin. (Transportstyrelsen, 2012). Jos suunnitellaan voimaloita alle 60 km päähän mittarilentokentästä, pyydetään lausuntoa LFV/ANS:ilta Norköpingissä. Kentän omistaja / puolustusvoimat on asianomistaja ja näin ollen on valitusoikeus rakennuslupa, yleiskaavaan, jos ne liittyvät jotenkin lentokenttään.

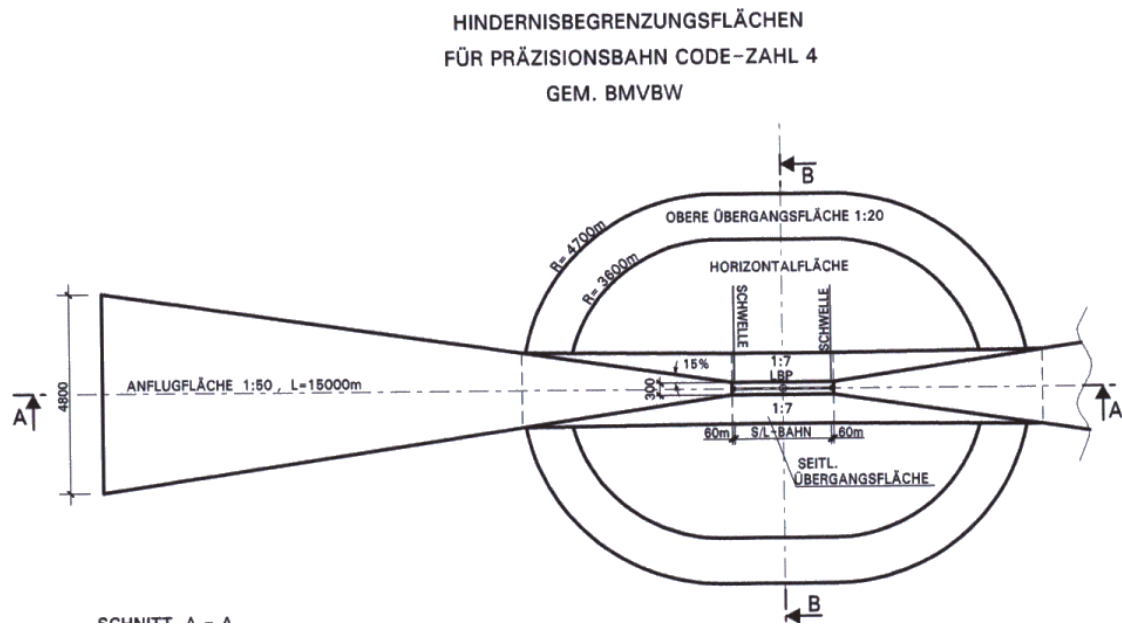
Korkeusrajoitusten aiheuttamat vaikutukset (rajoitukset ja suositukset) on näytettävä maankäytöllisissä yleissuunnitelmissa. Puolustusvoimat arvioivat vaikutukset harjoitus- ja ampuma-alueisiin (sis. vesialueen riskialueet, ampuma-alueisiin merellä, sotilasilmailuun (lähtö- ja laskeutumis suunnat kentille ja muut kuten helikopterilennot) ja kommunikaatio- ja valvontalaitteisiin. Osallisten informointi hankkeesta on tehtävä jo mieluiten hankkeen alkuvaiheessa. (Boverket, 2009 & Transport Styrelsen, 2010)



Kuvat 25 ja 26. Tukholman Bromman lentoesterajoituspinnat. (Trafikverket, 2012)

5.2.3 Saksa

Saksassa lentokenttien ympärillä on Annex 14 mukaiset lentoesterajoitusalueet, jotka laajimmillaan ulottuvat 15 km päähän kiitotien suuntaisesti ja 4,7 km kiitotien sivuille, joille korkeiden rakennelmien tekeminen on rajoitettua (kuva 27). (Deutsche Flugsicherung, 2001)



Kuva 27. Lentoestepinnat laajimmillaan Saksan lentoasemien ympärillä (DFLD, 2004).

Saksassa on useita korkeita tuulivoimaloita lentoasemien läheisyydessä. Hampurin Finckenwerderin lentoaseman läheisyydessä n 13 km etäisyydellä on 200 m korkea tuulivoimala-alue, jossa MSA-taso on 640 m:n korkeudella (2 100 ft). Paderborn-Lippstadt lentoaseman lähellä juuri lentoestepinnan ulkopuolella sijaitsevat Buerenin ja Wewelsburgin tuulivoimapaistot, n 20 tuulivoimalaa. Kokonaiskorkeudeltaan 180 m korkeat tuulivoimalat ulottuvat n 480 m:n korkeuteen alueella jossa MSA on 1 000 m (4 200 ft).

5.2.4 Iso-Britannia

Ilmailuhallinto (Civil Aviation Authority, CAA) vastaa ilmailun turvallisuussäännöksistä Iso-Britanniassa. Ilmatilan suunnittelusta ja sääntelystä sekä muun muassa kaikista tuulivoimaloihin liittyvistä asioista vastaa erityisesti Directorate of Airspace Policy (DAP). Iso-Britannian Ilmailuhallinto ei voi suoraan hyväksyä tai hylätä suunnitelmia, vaan hankkeet käsitellään yksitellen. Virallinen suunnittelu etenee paikallisten viranomaisten kautta.

Iso-Britanniassa lentoasemien ympärillä on lentoasemien koosta ja toiminnoista riippuvat lentoestepinnat (Obstacle Limitation Surface, OLS), joiden sisäpuolelle sijoittuvat tuulivoimahankkeet tutkitaan yksitellen lentoeste- ja tutkavaikutusten tunnistamiseksi. Tuoloin myös vaaditaan yleisesti erilaisia haittojen vähentämiskeinoja. Vyöhykkeet ulottuvat 30 km päähän lentoasemista, joilla on valvontatutka ja tutkattomilla, lisensoiduilla lentokentillä 17 km päähän, joilla kiitotie on yli 1100 m, 5 km päähän tutkattomilla lisensoi-

duilla lentokentillä, joilla kiitotie on alle 1100 m ja muilla kentillä 3-4 km päähän. Sallittu rakennuskorkeus riippuu ympäröivästä maastosta ja tutkatyypistä. Poikkeustapauksissa rakentaminen voidaan sallia, jos lentoreittejä muutetaan. Turvallisuusstandardit löytyvät kansallisista CAP 168 säännöksistä, jotka perustuvat kansainvälisen siviili-ilmailun yleis-sopimuksen liitteen 14 (Annex 14, Volume I) luvun 4 normeihin. Useat lentoasemat Iso-Britanniassa ovat tehneet erityisiä turvallisuuskarttoja, joissa kuvataan tuulivoimaloille mahdolliset ja mahdottomat sijoituspaikat.

Tällä hetkellä tutkavaikutukset ja niiden tutkiminen hidastavat merkittävästi tuulivoimahankkeita Iso-Britanniassa. Arviolta vuonna 2010 66 % kaikista hankkeista tutka- ja lentoestevaikutukset vaikuttivat jollain tavalla. Noin 1,2 GW teholta tuulivoimahankkeista on ilmailuvaikutuksia, jotka vaativat ratkaisua, ennen kuin rakennustyöt voidaan aloittaa. Teholtaan 5 GW hankkeita on juuttunut näistä syistä jo esisuunnitteluvaiheeseen. Energia- ja ilmastomuutosministeriö pyrkii kuitenkin ratkaisemaan näitä ongelmia yhdessä eri osapuolten kanssa (mm. puolustusvoimat, ilmailuviranomaiset, lentoasemat, järjestöt ja tuulivoimateollisuus). Joitain ratkaisuja on jo löydetty ja ongelmiin pyritään tarttumaan jo suunnittelun aikaisessa vaiheessa. Mm. tutkatutkimusta ja -kehitystä tehdään ja niiden sijoittelua tehdään uudestaan yhteistyössä. (Department of Energy & Climate Change, 2011 & Civil Aviation Authority, 2012)

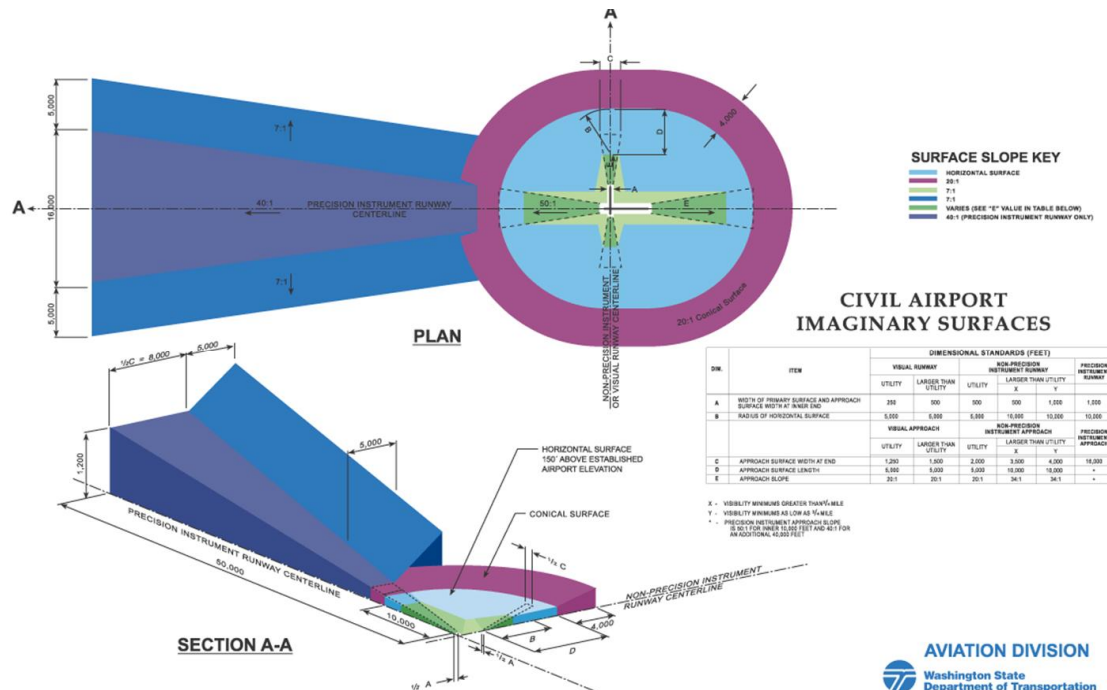
5.2.5 Yhdysvallat

Ilmailulakia valvoo liikenneministeriö, jonka toimielimenä toimii Federal Aviation Administration (FAA). FAA tekee tuulivoimahankkeiden osalta estevaikutusarviointin (obstruction evaluation, OE), jonka avulla arvioidaan, vähennetään tai estetään korkeiden rakennelmien vaikutukset ilmailutilaan. FAA ei kuitenkaan voi estää hankkeita kongressin mandaattina. Arviointi käsittää vaikutukset lentoasemiin, lentomääräyksiin ja -käytäntöihin sekä yleisesti lentoliikenteeseen.

FAA:n lähtökohtana on, että tuulivoimala on riski lentoliikenteelle, jos muuta ei pystytä osoittamaan. Jos haitallinen vaikutus on merkittävä, käynnistetään riskinarviointi. Lähtökohtana kuitenkin on, että FAA neuvottelee tuulivoimatoimijan kanssa toimenpiteistä, joilla riskit voidaan määrittää merkityksettömiksi. FAA määrittää myös tarvittavat lentoestemerkinnot ja -valaistuksen sekä muut tarvittavat toimet lentoturvallisuuden säilyttämiseksi ja lisäksi informoi eteenpäin lentoesteistä (tarvittaessa karttojen päivittämisen tms. osalta).

Siviililentoasemien ympärille on määritetty kuvitteelliset pinnat (Annex 14 mukaiset) suhteessa lentoasemaan ja kiitoteihin (kuva 28). Nämä kaltevat pinnat ulottuvat merkittävimmillään mittarilentokentillä 50 000 ft (noin 15,2 km) päähän lentoaseman keskipisteestä kiitotien suuntaisesti ja 14 000 ft (noin 4,3 km) kiitotien sivuille. Estepinnat on kuvattu tarkemmin seuraavassa kuvassa. Lentoasemien ympärillä on myös sujuvuutta parantavia käytettävyyalueita, mutta ne tutkitaan ja niistä neuvotellaan yleensä hankekohtaisesti. Esimerkiksi minimisektorikorkeuden (MSA) määritelmä on kuvattu kansallisissa ilmailumääräyksissä osan 91 § 119 ja sen arvot lasketaan lentokenttäkohtaisesti ympäröivien lentoesteiden mukaan.

Lentoesteiden määrittely ja käsittely on kansallisissa säädöksissä (Code of Federal Regulations, title 14-Aeronautics and Space, Chapter I - Federal Aviation Administration, Department of Transportation, Subchapter E - Airspace, Part 77 - Safe, Efficient Use of Navigable Airspace).



Kuva 28. Siviililentokentän lentoestepinnat. (WSDOT, 2012)

5.3 Yhteenveto ja johtopäätökset

ICAO on ohjeessaan International Standards and Recommended Practices - Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation määrännyt kansainvälisesti lentoasemien läheisistä esterajoitusalueista sekä lentoesteiden merkitsemisestä. Valtiot, Suomi mukaan lukien ovat tehneet kansalliset ilmailumääräykset sen mukaisesti ja ne ovat melko yhteneviä.

Lentoasemien läheiset lentoesterajoituspinnat ovat laajimmillaan lentoaseman koon mukaan Suomessa ja Ruotsissa 15 km kiitotien suuntaisesti ja 6 km sen sivuille, Yhdysvalloissa puolestaan 15,2 km kiitotien suuntaisesti ja 4,3 km sen sivuille ja Saksassa 15 km kiitotien suuntaisesti ja 4,7 km sen sivuille. Iso-Britanniassa on määrätty laajimmillaan vyöhyke 30 km etäisyydelle suurimmista lentoasemista, joiden sisäpuolelle sijoittuvat tuulivoimahankkeet tutkitaan lentovaikutusten selvittämiseksi. Tuon vyöhykkeen sisäpuolelle sijoittuvat myös Annex 14 mukaiset esterajoituspinnat.

Lentoasemien ympäristöissä on laajahkoja alueita, joilla korkeiden tuulivoimaloiden rakentaminen ei ole mahdollista ainakaan olemassa olevia järjestelmiä muuttamatta. Muutokset, jos ne ovat mahdollisia, saattavat aiheuttaa ainakin jossain määrin kustannuksia, ja erityisesti vähemmän liikennöidyillä lentoasemilla kustannuspaineita myös lentooperaattoreille.

Suomessa ja muissa maissa käytettävyyalueiden korkeuksia on nostettu tuulivoimahankkeen sijoituksessa kyseessä olevalle alueelle. Tuolloin viranomaiset ovat arvioineet tuulivoimatuotannon aiheuttaman hyödyn suuremmaksi kuin lentoliikenteen sujuvuudelle aiheutuvan heikennyksen. Periaatteena on, että käytettävyyalueet ja vaikutukset tutkitaan hankekohtaisesti ja samalla tehdään esimerkiksi tutkavaikutusten arviointi. Tämän jälkeen ratkaistaan, onko tuulivoimaloista saatu hyöty verrattuna lentoliikenteen sujuvuuden heikkenemiseen niin merkittävä, että käytettävyyalueiden korkeuksia tulisi

muuttaa. Muutos aiheuttaa ilmailukäsikirjan (AIP:n) ja karttojen päivityksen sekä saattaa vaikuttaa lentoliikenteeseen mm lentoreittejä pidentäen.

Tämän selvitystyön perusteella näyttäisi siltä, että ilmailuviranomaisten viestintä lentoesteistä ja lentoasemia ympäröivistä vyöhykkeistä ja rajoituksista ja näiden perusteista ei kaikilta osin ole avautunut tuulivoimateollisuudelle. Myös ilmailulain käsitteestä sujuva liikenne vallitsee epäselvyyttä. Tuulivoiman tuottajien ja ilmailuviranomaisten välillä käydään myös keskustelua tuulivoimaloiden rakentamisesta ja sen estämisestä aiheutuvista hyödyistä ja haitoista. Yhteiskunnallisista hyödyistä ja haitoista tuulivoimasektori painottaa hiilidioksidipäästöjen pienenemistä. Ilmailusektorin mukaan tuulivoimalan rakentaminen saattaa jossain tapauksessa uhata lentoaseman toimintaa. Lentoestelupia käsittelevällä Trafilla ei kuitenkaan ole resursseja tarkastella lentoesteen yhteiskunnallisia vaikutuksia, eikä arviointiin ole olemassa käytäntöä Suomessa.

6. Tuulivoimaloihin liittyvät liikenneturvallisuusongelmat ja riskit

6.1 Riskienhallintaprosessi ja terminologia

Tässä kappaleessa on esitetty keskeisimmät riskienhallinnan terminologiassa käytetyt käsitteet, jotka auttavat ymmärtämään riskienhallinnan prosessia, siihen liittyvää kokonaisuutta ja merkitystä. Riskienhallinta tulee nähdä prosessina, joka jakautuu erillisiin osa-alueisiin (kuva 29). (SFS-ISO 31000)

Vaara (hazard) on tekijä tai olosuhde, joka voi saada aikaan haitallisen tapahtuman. Riski (risk) puolestaan tarkoittaa haitallisen tapahtuman todennäköisyyttä ja vakavuutta. Riski on käsitteenä mahdollisuus, joka voi vaikuttaa positiivisesti tai negatiivisesti tavoitteiden saavuttamiseen. Negatiiviset tapahtumat edustavat käsitettä riski ja tapahtumat, joilla on positiivinen vaikutus, kutsutaan mahdollisuuksiksi (opportunity). Turvallisuus (Safety) tarkoittaa puolestaan tilaa, jossa siihen liittyvät riskit ovat hyväksyttäviä.

Riskienhallintaprosessi (the risk management process) alkaa tarkasteluympäristön ts. kohteen määrittelyllä ja rajaamisella, jonka jälkeen siirrytään varsinaiseen vaarojen ja haittatekijöiden tunnistamiseen (risk identification). Tämän jälkeen tulee määritellä ja ottaa huomioon mitä voi tapahtua tai millaisia seurauksia tapahtumalle voi esiintyä.

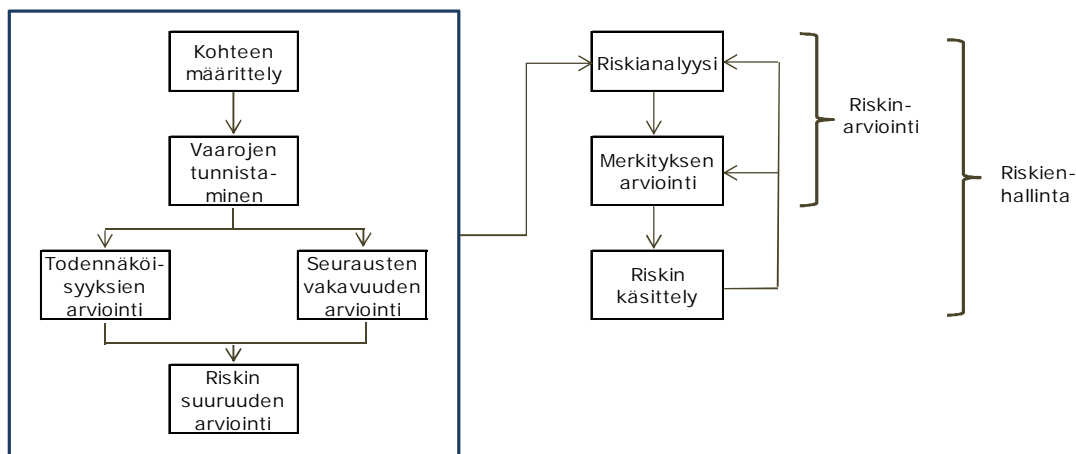
Riskinarviointi (risk assessment) tarkoittaa riskienhallintaprosessissa vaihetta, joka sisältää vaarojen tunnistamisen, riskianalyysin ja riskin suuruuden arvioinnin. Riskinarviointi on vaihe, jossa arvioidaan ilmenevästä vaarasta aiheutuva riski ja sen merkitys.

Riskianalyysi (risk analysis) on yksi osa riskinarviointivaiheesta. Riskianalyysi koostuu kohteen raja-arvojen määrittämisestä, vaarojen tunnistamisesta ja riskin merkityksen arvioinnista sekä muut riskin tarkasteluun liittyvät ominaisuudet. Riskianalyysi sisältää riskin syiden ja lähteiden tarkastelun, sekä seurausten sekä tapahtuman todennäköisyyden tarkastelun. Riskinarviointi termiin puolestaan liittyy vahvasti näkemys kokonaiskäsitteksen muodostamisesta ja tämän jälkeen päätöksenteko siitä, kuinka kyseistä riskiä kulloinkin käsitellään.

Riskin merkityksen arviointi (risk evaluation) muodostuu haitallisen tai epätoivotun tapahtuman todennäköisyyden ja sen seurauksen yhdistelmänä. Riskien arviointimenetelyt voivat olla kvalitatiivisia sekä kvantitatiivisia. Kvalitatiiviset menetelmät perustuvat laadullisten kriteerien perusteella tehtävään arvioon, kun taas kvantitatiiviset menetelyt perustuvat tilastolliseen tietoon. Riskien merkityksen arvioinnin tavoitteena on auttaa tekemään päätöksiä riskianalyysin tulosten perusteella

Riskien käsittely (risk treatment) on toisin sanoen riskin hallintakeinoista päättämistä. SFS-ISO 31000 (s. 44) määrittelee riskien käsittelyn vaihtoehdot seuraavasti:

- riskin torjuminen päättämällä olla aloittamatta tai jatkamatta riskin aiheuttamaa toimintaa,
- riskin ottaminen tai lisääminen jonkin mahdollisuuden hyödyntämisen takia,
- riskin lähteen poistaminen,
- todennäköisyyden muuttaminen,
- seurausten muuttaminen,
- riskin jakaminen toisen osapuolen tai osapuolten kanssa sekä
- säilyttäminen tietoon perustuvalla päätöksellä.



Kuva 29. Riskienhallintaprosessi ja käytetty termistö.

6.2 Tuulivoimalan aiheuttamat vaarat liikenteelle

Tuulivoimalan vaurioitumista sekä lumen ja jään irtoamista tuulivoimalan tornista ja laivoista pidetään useissa yleisesti vaarana asutukselle, maantie- ja rautatieliikenteelle sekä meriliikenteelle. Maantieliikenteen vaaroina on esitetty perusteluissa voimalan vaurioitumisen ja jäätymisen lisäksi myös kuljettajan keskittymiskyvyn häiriintyminen.

Merituulivoiman osalta vaaroina liikenteelle on esitetty turvallisuuden ja toiminnallisen vaaran kautta seuraavaa: törmäys tuulivoimalaan joko ajelehtimisen tai navigointivirheen seurauksena. Törmäysriskiä arvioidaan myös navigointiin vaikuttavan häiriön kautta, jolloin laivat voivat mahdollisessa häiriötilanteessa törmätä toisiinsa tai muuhun esteeseen. Myös ohjaus- ja valvontajärjestelmien häiriintyminen, niistä aiheutuvat kommunikaatio-ongelmat sekä tuulivoimalan vaurioituminen ja jäätymisen ovat esitetty ns. turvallisuutta heikentävänä vaarana. Liikenteen sujuvuuden osalta on toiminnallisena haittana puolestaan käsitelty tuulivoimalan aiheuttamaa ns. kiertohaittaa sekä järjestelmien muutostöitä.

Lentoliikenteen osalta vaaroina on turvallisuuden näkökulmasta käsitelty tutka- ja ohjausjärjestelmien häiriöiden seurauksena tapahtuvaa kommunikaatio-ongelmaa ja mahdollista toiminnallista haittaa eli ns. lennon pitkittymistä niiden seurauksena. Toiminnallista haittaa on kuvattu lentoliikenteen sujuvuuden ja vihreyden kautta, jotka vaikuttavat mm. lentoaseman käytettävyyden heikentymiseen ja siten heikosti kannattavan lentoliikenteen loppumiseen. Myös turbulenssi on nostettu esiin lentoliikennettä heikentävänä vaarana.

6.2.1 Tuulivoimalan vaurioituminen

Tuulivoimaloiden toimintavarmuutta voivat uhata tai häiritä käytön aikana muun muassa inhimilliset virheet kunnossapidossa, ulkopuolisen kappaleen aiheuttamat vahingot, kuluminen ja käyttöikä, sääolosuhteet, kuten myrskyt ja sateet, sekä erilaiset luonnonkatastrofit. Myös valmistusvika tai rakenteellinen vika, rakennusvirhe tai tekninen vikaantuminen järjestelmässä voivat muodostaa riskin tuulivoimalan toimintavarmuudelle. Toimintavarmuuden heikkeneminen ei kuitenkaan aina tarkoita sitä, että se aiheuttaisi vaa-

raa ihmiselle. Näiden lisäksi uusin tai tulevaisuuden tekniikka altistaa tuulivoimalat uudentyyppisille häiriö- ja uhkatekijöille, joita ei ole välttämättä vielä tunnistettu.

Tuulivoimaloihin liittyvät rakenteelliset onnettomuudet pyritään estämään jo suunnittelun keinoin. EU-direktiivin 2006/42/EC mukaan laitteiston täytyy olla suunniteltu ja valmistettu siten, että sitä voidaan käyttää, säätää ja ylläpitää aiheuttamatta riskiä ihmisille. Ko. direktiivin mukainen koneille ja laitteille määritelty riskiprosessi etenee seuraavasti: määrittele laitteiston rajoitukset, identifioi vaarat, arvioi riskit / tee riskilaskelma, arvioi mahdolliset suunnitteluratkaisut, eliminoi vaara tai vähennä riskejä sekä tiedota jäljelle jäävistä vaaroista.

Tuulivoimalan vaurioitumisen näkökulmasta vaara- ja häirtatekijöitä voivat olla muun muassa lavan tai sen osien irtoaminen tai katkeaminen, tuulivoimalan kaatuminen tai katkeaminen, tulipalo tai ulkopuolisen kappaleen osumisen seurauksena osien sinkoutuminen. Turvallisuuden kannalta merkittävimpiä seurauksia riskeistä voivat olla tuulivoimalan osan tai muun kappaleen osuminen ihmiseen, rakennukseen tai liikennevälineeseen. Näistä aiheutuvia seurauksia voivat olla henkilövahingot, omaisuusvahingot ja ympäristövahingot sekä tuotannon näkökulmasta tuulivoimalan toiminnan häiriintyminen tai pysähtyminen (Timm, 2007).

Tuulivoimalan lapojen vioittumiseen vaikuttavat usein muun muassa ennakoimattomat luonnonilmiöt, joita ei ole otettu suunnittelussa huomioon, äärimmäisten kuormitusten tai rakenteiden väsymistä koskeva puutteellinen suunnittelu, huono laatu, turvallisuusjärjestelmän vaurioituminen sekä inhimilliset virheet. Useimmat lapojen vaurioitumiset ovat edellä mainittujen yhdistelmiä. (Timm, 2007).

Vuosien 1980 ja 2001 välisenä aikana Hollannissa ja Saksassa kerätyn aineiston mukaan lapa rikkoutui yhdessä voimalassa 2 400:sta huippunopeudella, mekaanisen jarrutuksen aikana yhdessä voimalassa 20 000:sta ja turbiinin lavasta irtosi pala yhdessä voimalassa 20 000:sta. Kokonaisen lavan raportoitiin lentäneen korkeintaan 150 metrin päähän voimalasta, ja lavan palasen 500 metrin päähän. Raportissa korostetaan, että aineistosta voitiin päätellä lapojen rikkoutumisen vähentyneen 1990-luvun alusta vuoteen 2001 kolmanneksen. Tämä johtuu siitä, että aiemmin käytettiin tietyn tyyppisissä sakkaussäätöissä voimalaitoksissa karkijarruja, jotka aiheuttivat lapojen rikkoutumista. Tänä päivänä voimaloihin ei enää rakenneta karkijarruja. Lisäksi lapojen kestävyys on panostettu jatkuvasti myös vuoden 2001 jälkeen, joten lapojen rikkoutumiset ovat tänä päivänä huomattavasti harvinaisempia kuin edellä esitetyt luvut. (Timm, 2007).

Rakenteiden vioittumisella tarkoitetaan vakavaa vikaantumista olosuhteissa, joihin ne tulisi suunnitella kestäväksi, kuten esimerkiksi myrskyn aiheuttamat vauriot tai tornin kaatuminen. Heikko materiaalien tai rakentamisen aikainen laadunvarmistus, ylläpidon puute tai yksittäisten komponenttien vikaantuminen voivat aiheuttaa rakenteiden vioittumista. (CWIF, 2012).

Saksassa tehdyn selvityksen mukaan vuonna 2007 tuulivoimaloiden suuri kysyntä, voimalakokojen kasvu ja valmistajien suuri riskinotto olisi vaikuttanut laadun heikentymiseen huomattavasti, sillä muun muassa testaamiseen ei käytetty tarpeeksi aikaa. Varaosia voi myös olla vaikea saada; esimerkiksi uutta roottoria voi joutua odottamaan jopa 18 kk. Useat vakuutusyhtiöt reagoivat tähän tilanteeseen tiukentamalla vakuutusehtojaan, jonka mukaan muun muassa tuulivoimalan vaihteisto tuli uusiksi viiden vuoden välein. (Kaiser & Fröhlingsdorf, 2007). Tilanne on sittemmin rauhoittunut, muun muassa tuulivoimaloiden kasvuvauhti on laantunut, suunnitteluvirheisiin on kiinnitetty huomiota ja laitteistovauriot vähentyneet.

Vaikka rakenteiden vioittuminen on vaarallisempaa kuin lapojen vioittuminen, tapahtuu rakenteiden vioittumista huomattavasti harvemmin, ja näissä myös henkilövahinkojen

riskit ovat alhaisemmat (CWIF, 2012). Lapojen vioittuminen useimmiten johtuu ihmisen vaikutuksesta ohjausjärjestelmiin johtaen ylinopeustilanteisiin, salamaniskusta tai lavan valmistusvirheestä. Garrad Hassanin laatiman raportin mukaan ulkopuolisten loukkaantuminen lavan tai sen vaurioitumisen vuoksi on äärimmäisen epätodennäköistä (Timm, 2007).

Hollannissa on tehty riskiarvio voimalasta irtoavan osan osumisesta 80 km/h nopeudella kulkevaan 15 metriä pitkään rekkaan, joka ajaa 9,5 kilometriä pitkän tuulipuiston ohi. Tuulipuiston 20 voimalaa ovat rivissä tien suuntaisesti 37 metrin etäisyydellä tiestä. Laskelmien mukaan todennäköisyys, että voimalan osa irrotessaan osuu rekkaan on $5,9 \times 10^{-10}$. Vastaavasti tutkimuksessa tutkittiin todennäköisyyttä, jolla tuulivoimalan irronnut lapa osuu ohi ajavaan rekkaan, jolla on lastina kemikaaleja. Lopputuloksena todettiin, että todennäköisyys lavan osumalle rekkaan aiheuttaen vuodon on alle 1 %. (Braam & Rademakers, 2004).

Erilaiset tulipalot ovat CWIF:n (2012) aineiston mukaan lähes yhtä yleisiä kuin lapojen vioittumiset. Tulipalojen syttyminen voi johtua useista eri syistä, ja toiset turbiinit ovat alttiimpia tulipaloille kuin toiset. CWIF:N aineiston perusteella johtopäätösten teko on kuitenkin kyseenalaista, sillä aineisto on tuulivoimaa vastustavan tahon tekemää ja tilastoidut lähtötiedot eivät ole kattavia, joten yksiselitteistä tulkintaa tulipalojen määrästä liittyen tuulivoimalan vaurioitumiseen ei voida tässä yhteydessä tehdä. Tulipalon seurauksena irtoavien osien lisäksi CWIF:n aineistossa on mainittu palon leviäminen ympäristöön. Korkeiden tuulivoimaloiden osalta palavat osat voivat tuulisissa oloissa levitä laajalle alueelle ja kuivalla säällä tuli voi näin ollen levitä ympäristöön, metsiin tai asutukseen.

Koistisen (2004) mukaan lintujen törmäysriski tuulivoimalaan on keskimäärin yksi lintu/voimala/vuosi. Tämän vuoksi linnun tuulivoimalaan törmäyksen seurauksena sen sinkoutuminen ajotielle ja osuminen ohi ajavaan autoon on erittäin epätodennäköinen.

Merituulivoimaloiden osalta on nostettu esiin pohdinta, jossa aluksilla olisi vaarana osua reitillään tulevaisuudessa ns. kelluvarakenteiseen tuulivoimalaan, joka olisi lähtenyt ajelehtimaan sen kiinnityksen vaurioitumisen seurauksena. Suomessa tämä riski on todettu lähes mahdottomaksi, sillä ko. riski realisoituu syvillä avovesiosuuksilla ja Suomessa perustaminen tapahtuu mataliin rannikkovesiin mm. jääkuormien minimoimiseksi. Meriliikenteen osalta ei voida antaa kuitenkaan mitään yleistä törmäysriskin todennäköisyyttä, sillä hankekohtaiset olosuhteet vaikuttavat merkittävästi riskin suuruuteen. Meriliikenne-riskien arviointia on esitelty osiossa 6.2.4.

6.2.2 Jäätyminen ja jään irtoaminen

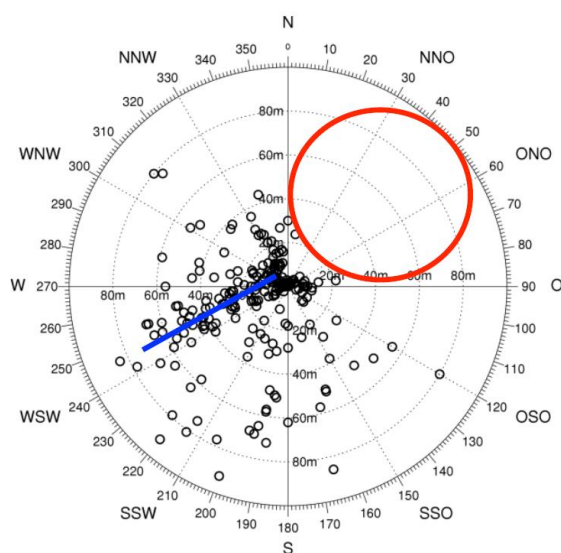
Mahdollisen jäätymisen seurauksena tapahtuva onnettomuuden toteutuminen edellyttää seuraavaa:

- jään muodostumista,
- jääkappaleiden irtoamista ja niiden putoamista tiettyyn kohtaan, sekä
- henkilön tai liikennevälineen sijaintia jään putoamiskohdassa.

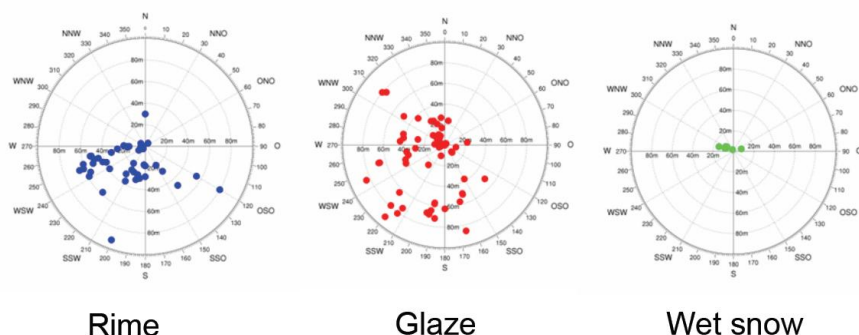
Saksassa tehdyssä tutkimuksessa tutkittiin jäiden putoamista tuulivoimalan lavoista; kuinka usein jäätä putoaa, kuinka kauas palaset lentävät, kuinka painavia palaset ovat ja mihin palaset putoavat. Tutkimuksen lopputuloksena todettiin, että tuuliset olosuhteet jään putoamisen hetkellä vaikuttavat riskialueeseen ja että puolet pudonneista jään palasista putosi lapojen alapuolelle, samoin kuin painavat (> 600 g) jään palaset. Tutkimuksessa lisäksi todettiin, jään putoamista tapahtui myös kesällä vuoristo-olosuhteissa. (Cattin, 2012).

Sveitsissä sijaitsevan Mt. Guetschin voimalan jäänirtoamista seurataan järjestelmällisesti (Alpine Test Site Guetsch). Ei-toiminnassa olevasta voimalasta on jään sinkoutumismatka määritelty kaavalla $d = (D+H)1,5$, jossa d = max sinkoutumismatka, D = 2 x lavan pituus ja H = napakorkeus (yksiköt m). Toiminnassa olevasta voimalasta sinkoutuu jäätä puolestaan seuraavan kaavan mukaan $d = v(0,5 D+H)/15$, jossa v = tuulen nopeus navan korkeudella (m/s), d = max sinkoutumismatka, D = 2 x lavan pituus ja H = napakorkeus (yksiköt m).

Molempia esitettyjä kaavoja pidetään suuntaa antavina. Mt. Guetschin havaintojen mukaan pisin jään sinkoutumismatka oli 92 m, kun edellä mainitun Seifertin kaavan mukaan enimmäismatka olisi 135 m. Jään sinkoutuminen tapahtui Mt. Guetschin voimalassa pääosin lounaaseen, kun vallitsevat tuulen olivat pohjoisesta (kuvat 30 ja 31). Koillisessa ei havaittu jäätä ollenkaan. Suurin havaittu jään pala painoi 1,8 kg. Puolet jäähavainnoista tehtiin lapojen alapuolelta. (Cattin, 2012).

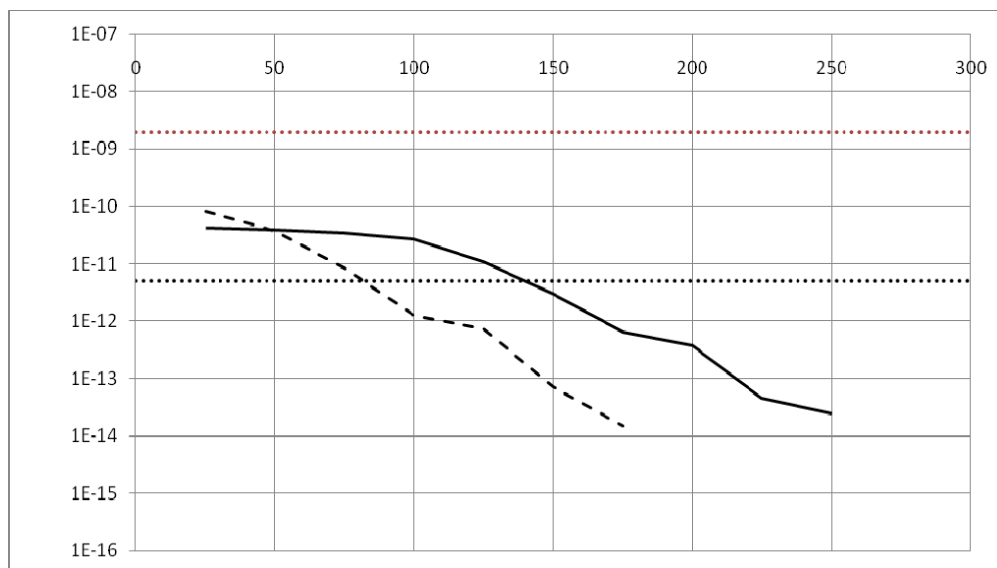


Kuva 30. Jään sinkoutuminen Mt Gutschin voimalassa. (Cattin, 2012)



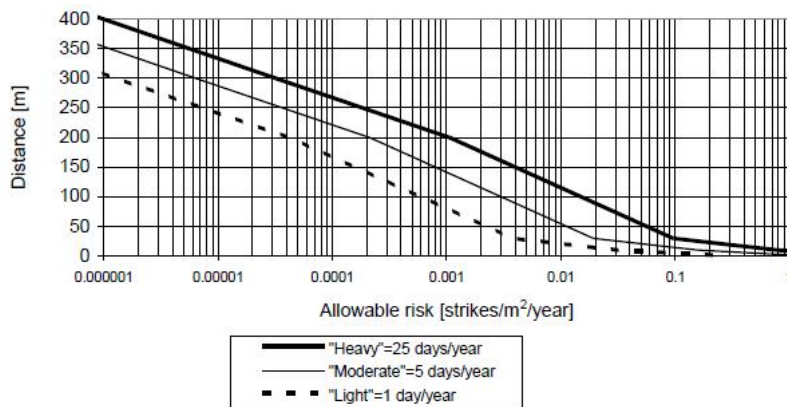
Kuva 31. Jään sinkoutuminen Mt Gutschin voimalassa eri jäättyypin mukaan. (Cattin, 2012)

Tanskan DTU (Danmarks Tekniske universitet) puolestaan on määritellyt, millä todennäköisyydellä henkilöautossa matkustava henkilö voi menettää henkensä jään sinkoutumisen vuoksi. Tarkastelussa on otettu huomioon kaksi erilaista tilannetta, jossa ensimmäisessä tapahtumatarkastelussa voimala on toiminnassa, ja tuulen voimakkuus on 3-25 m/s, kun taas toisessa tapahtumatarkastelussa voimala on pysähdytetty ja tuulen voimakkuus pienempi kuin 3 m/s tai suurempi kuin 25 m/s. Kuvassa 32 on esitetty todennäköisyyttä tilanteelle, jossa ajoneuvossa oleva henkilö menehtyy jään iskeytyessä ajoneuvoon voimalasta, jonka korkeus on 150 metriä. Voimaloiden keskinäinen etäisyys on 400 metriä. Todennäköisyysskäyrän taitepisteet vastaavat 5, 10, 15, 20 ja 25 m/s tuulen voimakkuuden aiheuttamia sinkoutumisetäisyyksiä. Jatkuva viiva kuvaa toiminnassa olevaa voimalaa ja katkoviiva pysähtynyttä. Kuvaan on merkitty pisteviivalla tilastollinen kuoleman riski tanskan moottoriteillä, joka oli 2×10^{-9} ajoneuvokilometriä kohden vuonna 2009. ALARP (As Low As Reasonably Practicable) periaatteen mukaan riskin lisäystä voidaan pitää merkityksettömänä, mikäli lisäriski on pienempi kuin 1/100, eli tässä tapauksessa 2×10^{-11} . Mikäli laskelmassa huomioidaan Tanskan moottoriteiden liikenneturvallisuustason tavoiteltu paraneminen, voidaan riskin lisäyksen hyväksyttävyyttä alentaa tasolle 5×10^{-12} , mikä on kuvassa esitetty mustalla pisteviivalla (alempi pisteviiva). Laskelman tulos on, että hyväksyttävä lisäriski saadaan etäisyydellä, joka on suurempi kuin 150 m kun voimalan korkeus on 150 m. Tanskalaisessa laskelmassa jäätymistä, jossa syntyy suurempia kuin 3 mm halkaisijaltaan olevia jään kappaleita, oletetaan tapahtuvan 0, 175 kertaa vuodessa.



Kuva 32. Todennäköisyys, jolla ajoneuvossa oleva ihminen menehtyy jään sinkoutumisen vuoksi. (Transportministeriet, 2011)

Iso-Britanniassa Morgan, Bossanyi ja Seifert/Garrad Hassan and Partners, on arvioinut jään irtoamisen riskiä liikenteelle määrittelemällä sen samansuuruiseksi kuin salamaiskun todennäköisyyden, eli 10^{-6} iskua/m²/vuosi. Tarkastelussa on otettu huomioon kaikenkokoiset jäänkappaleet, mutta jään osuman seurauksia ei ole määritelty. Jään sinkoutumisen riskejä ja etäisyyksiä on esitetty alla olevassa kuvassa (kuva 33). Laskelmat on tehty voimalalle, jonka lavan pituus on 25 m. (Timm, 2007)



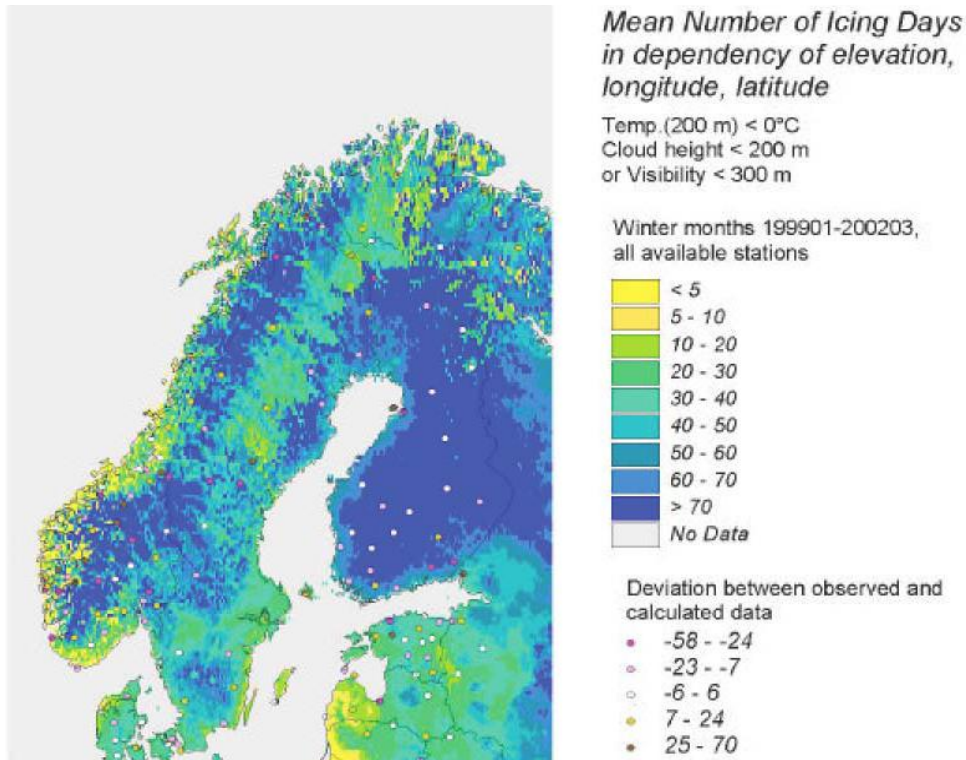
Kuva 33. Etäisyydet jään sinkoutumiselle. (Morgan C., Bossanyi E. and Seifert H., 1997)

Kanadassa tehdyssä tutkimuksessa on laskettu todennäköisyyksiä, jossa tuulivoimalan lavasta irronnut jääpala osuu rakennukseen, tielle tai ihmiseen aiheuttaen ihmisen kuoleman. Tutkimuksessa laskettiin, että jääpala osuu keskimäärin rakennukseen kerran 62 500 vuodessa aiheuttaen kuoleman (100m² rakennus 300 metrin päässä tuulivoimalasta). Jäänpalan osuminen tielle (tie 200 metrin päässä voimalasta, 100 autoa ja autojen nopeus 60 km/h) aiheuttaen ihmisen kuoleman tapahtuu kerran 100 000 vuodessa. Irronnut jääpala voi aiheuttaa ihmisen kuoleman osuessaan suoraan ihmiseen kerran 500 vuodessa, olettaen että ihminen seisoo koko ajan 50–300 m:n päässä tuulivoimalasta. (Timm, 2007)

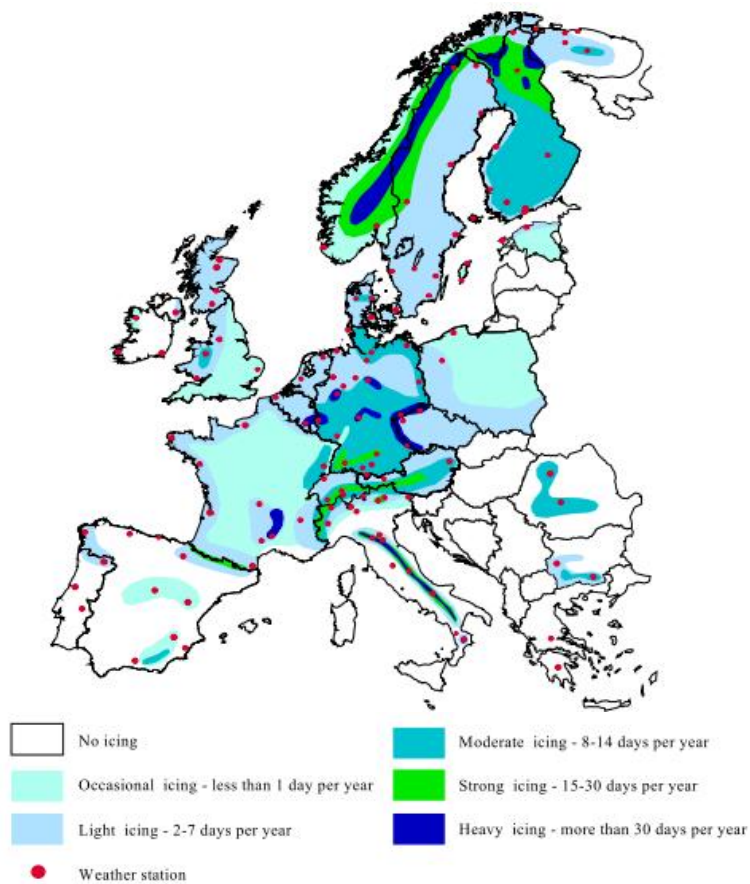
Suomessa jäätymisriski rannikolla on kymmenkertainen verrattuna Tanskan olosuhteisiin, sisämaassa 50-kertainen ja Lapissa jopa 100-kertainen. Suhteutettuna samaan riskitasoon kun DTU Risö:n laskelmat Tanskassa, Suomen oloissa hyväksyttävä suojaetäisyys 150 metriä korkean (kokonaiskorkeus) voimalan kohdalla olisi näin ollen rannikolla noin 160 m, sisämaassa noin 200 m ja Lapissa noin 250 m. Etäisyys mitataan tällöin ajoradan reunasta.

Kuvassa 34 on esitetty Pohjoismaiden keskimääräiset jäätymispäivät tammikuun 1999 ja maaliskuun 2002 väliseltä tutkimusjaksolta. Kuvasta voidaan havaita, että myös Ruotsissa ja Norjassa on alueita, joissa on pitkiä pakkasjaksoja, kuten Suomessa, tosin vaihtelut Ruotsissa ja Norjassa ovat suurempia rannikolta sisämaahan verrattuna. (Dobesch, 2003).

Kuvassa 35 on puolestaan esitetty päivien määrää alijäähtymisen osalta Euroopassa vuosina 1996-1998. Tällöin ilmakehässä on nestettä mikä jäähtyy jäätymispistettään kylmemmäksi pysyen kuitenkin nestemäisenä pintajännityksen vuoksi. Alijäähtyneen nesteen osuessa esimerkiksi liikkuvaan lapaan ne jäätyvät välittömästi ja tarraavat tiukemmin kiinni jäänä rakenteisiin. Suomen olosuhteissa jäätävää sadetta tai niin sanottua alijäähtynyttä vesisadetta esiintyy vähän. Suomessa rannikko-alueilla voidaan puhua helppoista olosuhteista, joissa alijäähtymistä tapahtuu 2-7 päivänä vuodessa, kun taas Lapissa jäätymistä tapahtuu enemmän kuin 30 päivänä vuodessa. Vaikeita ja suhteellisen vaikeita olosuhteita löytyy Lapin ohella Ruotsin ja Norjan rajalla Kölivuoristosta ja Keski-Euroopan vuoristoista. (WECO, 1998)



Kuva 34. Keskimääräiset jäätämispäivät pohjoismaissa vuosina 1999–2002.



Kuva 35. Euroopan jäätymiskartta (WECO, 1998).

Jään osumisen riskiä pyritään pienentämään sijainnin suunnittelun keinoin välttämällä tuulivoimaloiden rakentamista kylmän ilmaston alueille, mutta se on usein käytännössä mahdotonta. Laitteiden ja koneiden näkökulmasta jäätymisen seurauksena muodostuvaa onnettomuusriskiä pyritään pienentämään jäänmuodostumisalueilla käyttämällä lämmityslaitteita estämään lapojen jäätymistä tai käyttämällä jäänsulatuslaitteita.

Lopputilanteessa vielä voidaan lisäksi käyttää seuraavia ehkäiseviä keinoja:

- tarkkaillaan jään muodostumista lapoihin ja toimitaan tilanteen mukaisesti,
- rajoitetaan voimaloiden käyttöä sellaisina ajankohtina, jolloin jään muodostuminen on mahdollista, kuten esimerkiksi vältetään voimaloiden käyttöä lokakuun ja toukokuun välillä,
- varoitetaan ihmisiä varoituskylteillä putoavasta jäästä, sekä
- aidataan tai muuten estetään pääsy voimaloiden / jään putoamisen alueelle.

Varoitusvälineinä käytetään pääosin merkkejä, mutta myös varoitusvalaisimia ja sireenejä on käytössä. Varoitusmerkit ovat yleisesti mm. Keski-Euroopan jäätämisaueilla vaadittuja ja käytettyjä.

6.2.3 Keskittymishäiriöt ja häikäisyvaara

Tuulivoimaloista johtuvat keskittymishäiriöt on muutamien maiden tieviranomaisien taholta esitetty tuulivoimaloiden ja maanteiden etäisyysvaatimusten perusteena tai huolenaiheena. Kuljettajan keskittymishäiriöitä on esitetty syntyvän seuraavasti:

- huomion kiinnittyminen lapojen liikkeeseen,
- lapojen muodostama varjojen liike tienpinnassa, niistä aiheutuvat häiriöt ja virheelliset tulkinnat,
- voimalan osien aiheuttama välkehdintä tai valojen vilkkuminen, niistä aiheutuvat häiriöt ja virheelliset tulkinnat, sekä
- tuulivoimaloihin kiinnitettävät lentoliikenteen varoitusvalojen häikäisyilmiöt (nousee esiin mahdollisena riskinä häiritä tielläliikkujaa).

Kliistan tosiasia on, että ihmisen huomio kiinnittyy liikkuvaan esineeseen, jollaiset tuulivoimalan pyörivät lavat ovat. Tieviranomaiset ovat kaikkialla pyrkineet estämään mainosten ja erityisesti liikkuvien mainosten pitämistä teiden läheisyydessä. Erityistä keskittymistä edellyttäviä tienkohtia, kuten liittymiä, on pyritty pitämään mainoksista vapaina. Edellä mainittujen häiriötekijöiden muodostamaan seurauksen vakavuuteen tielläliikkujille liittyy vahvasti aina ajoneuvojen nopeus ja muun liikenteen määrä sekä tiestön geometria.

Varjojen muodostama liike on todettu olevan ongelma tiellä liikkujien lisäksi tuulivoimalan läheisyydessä sijaitsevalle asutukselle. Erityisesti aamu- ja ilta auringon aikana tuulivoimalan lavat aiheuttavat pitkiä liikkuvia ja toistuvia varjoja. Myös suuritehoiset tuulivoimaloiden varoitusvalot voivat aiheuttaa vilkkumista. Vilkkumisen on väitetty jopa aiheuttavan epileptisiä kohtauksia, mikä ei kuitenkaan lääketieteen asiantuntijoiden mukaan ole todennäköistä suhteellisen hitaan vilkkumisen vuoksi.

Voimalan lapojen välkeheijastukset ovat periaatteessa rinnastettavissa kaikenlaisiin muihin välkehdintöihin, joita tien läheisyydessä olevat rakenteet ja pinnat aiheuttavat. Tuulivoimaloiden aiheuttama välkehdintä vähenee ajan saatossa suhteellisen nopeasti uusien pintojen kiillon vähetessä. Lajojen valmistuksessa voidaan myös käyttää mahdollisimman vähän heijastavaa materiaalia.

Lentoliikenteen varoittamiseksi asetettavat huomiovalot tuulivoimalan tornin huipulla voidaan yleensä myös havaita ohikulkevalta maantieltä. Erityisesti useamman tuulivoimalan keskittymä ts. tuulivoimapuisto saattaa johtaa häiritsevään valoilmioon ja huomion kiinnittymiseen (vrt. mainosvalot).

Ruotsissa ja Iso-Britanniassa keskittymisen häiriöt on mainittu tuulivoimaloiden etäisyysvaatimusten määrittelyssä, mutta etäisyysvaatimusten määrittämiseen tuulivoimaloiden aiheuttamien keskittymishäiriöiden perusteella ei ole katsottu olevan olemassa tutkimustuloksia.

Tanskassa Vejdirektoratetin mukaan kuljettajan katse on kohdistettuna edessä olevaan tien kohtaan. Mitä suurempi nopeus, sitä kauempana silmä tällöin lepää. Ajonopeudella 100 km/h katse on kiinnittynyt noin 600 m:n päähän ja näkökentän laajuus on noin 40 astetta. Tällöin näkökenttään osuu elementtejä, jotka sijaitsevat 200–250 m tiestä. Suuremmilla nopeuksilla näkökenttä kapenee ja pienimmillä laajenee. Vejdirektoratet on pitänyt 250 metriä sopivana etäisyytenä. Tanskassa on kuitenkin todettu, että luotettavan riskianalyysin tekemiseen keskittymishäiriöiden kohdalla ei ole riittävästi tietoa tällä hetkellä.

Yhdysvaltojen National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) on laatinut selvityksen liikenneonnettomuuksiin johtaneista syistä tutkintalautakuntaraporttien perusteella (National Motor Vehicle Crash Causation Survey, Publ 811059, 2008). Tutkimusaineisto käsitti 5 471 onnettomuutta, joista poliisi oli laatinut raportin. Onnettomuudet olivat sattuneet heinäkuun 2005 ja joulukuun 2007 välisenä aikana. Tänä aikana poliisin tietoon tuli Yhdysvalloissa kaiken kaikkiaan 2 189 166 liikenneonnettomuutta. Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään syitä, jotka aiheuttivat onnettomuuden (critical reason for the critical pre-crash event). Tutkimuksen perusteella ulkoinen häiriö (external distraction) oli alkuperäinen syy 3,8 % onnettomuuksista (taulukko 3). Ulkoisella häiriöllä tarkoitetaan huomion kiinnittymistä tapahtumaan tai kohteeseen ajoneuvon ulkopuolella, esimerkiksi hälytysajoneuvon, eläimeen tai maisemanäkymään. Jos näitä tutkimuksen tuloksia sovellettaisiin Suomen tieliikenteen onnettomuuksiin, ulkoisesta häiriöstä aiheutuisi noin 11 liikennekuolemaa vuosittain.

Liikenneonnettomuuksien syynä todetaan seuraavassa taulukossa 3 olevan nukahtaminen 3,2 % tapauksissa. Ruotsalainen Vägverket on puolestaan suositellut tien linjauksen ja toimenpiteiden tekemistä siten, että vähintään kolmen minuutin välein tiemaisemassa tapahtuisi jotain, mikä ylläpitäisi kuljettajan mielenkiintoa. Erityisesti Ruotsin pohjoisosissa tieliikenteen ongelmana on nukahtaminen pitkillä metsätaipaleilla. Myös tuulivoimala voi toimia näissä tilanteissa ns. maamerkkinä, joka nostaa kuljettajan vireystasoa ilmes-
tyessä näkökenttään lisäämällä maiseman monipuolisuutta.

Tuulivoimaloiden aiheuttamien keskittymishäiriöiden onnettomuusvaikutuksista ei ole tämän selvityksen laatimisen yhteydessä löytynyt yksiselitteistä tutkimustietoa. Voidaan todeta, että tuulivoimalan katselu on ns. ulkoinen keskittymishäiriö, joskin se on taajamassa epätodennäköinen onnettomuuteen johtava häiriö. Jos taajamissa sattuneet kuolemaan johtaneet onnettomuudet jätetään tarkastelun ulkopuolelle, liikennekuolemia oli Suomessa maanteilla vuonna 2010 yhteensä 153 kpl, joissa ulkoinen häiriö oli syynä kuuteen kuolemaan. Tuulivoimaloiden vaikutusta näihin on vaikea arvioida. Toisaalta keskittymishäiriöalttiuden voisi esimerkiksi olettaa kasvavan, kun tienvarsille rakennetaan tuulipuistoja.

Taulukko 3. Liikenneonnettomuuksien aiheuttajia. (NHTSA, 2008)

Table 9(a). Critical Reasons for Critical Pre-Crash Event Attributed to Drivers				
Critical Reason for Critical Pre-Crash Event		Number of Crashes		Weighted Percentage
		Unweighted	Weighted	
Recognition error	Inadequate surveillance	1,080	414,626	20.3%
	Internal distraction	482	218,548	10.7%
	External distraction	229	77,496	3.8%
	Inattention (i.e., daydreaming, etc.)	194	65,712	3.2%
	Other/unknown recognition error	109	51,926	2.5%
	Subtotal	2,094	828,308	40.6%
Decision error	Too fast for conditions	348	171,604	8.4%
	Too fast for curve	181	100,713	4.9%
	False assumption of other's action	260	92,583	4.5%
	Illegal maneuver	232	78,112	3.8%
	Misjudgment of gap or other's speed	212	65,221	3.2%
	Following too closely	85	30,452	1.5%
	Aggressive driving behavior	99	31,026	1.5%
	Other/unknown decision error	335	125,805	6.2%
	Subtotal	1,752	695,516	34.1%
Performance error	Overcompensation	211	100,090	4.9%
	Poor directional control	249	95,165	4.7%
	Other/unknown performance error	30	7,751	0.4%
	Panic/freezing	20	7,137	0.3%
	Subtotal	510	210,143	10.3%
Non-performance error	Sleep, actually asleep	160	65,141	3.2%
	Heart attack or other physical impairment	133	48,822	2.4%
	Other/unknown critical nonperformance	76	31,881	1.6%
	Subtotal	369	145,844	7.1%
Other/unknown driver error		371	162,132	7.9%
Total		5,096	2,041,943	100%
Estimates may not add up to totals due to independent rounding.				
Data source: NMVCCS (July 3, 2005 – December 31, 2007), NHTSA, compiled as of April 30, 2008				

6.2.4 Meriliikenteeseen vaikuttavat vaarat ja riskinarviointi

Meriliikenteen riskinarvioinnissa tutkitaan yleisesti tuulivoima-alueen läheiset (kaupalliset) laivaväylät, arvioidaan vaikutukset navigointiin, törmäysriskin suuruus, virkistys-veneilyn merkittävyys alueella, puiston rakennusvaiheen vaikutukset ja muut vaikutukset (esim. pelastustoimintaan) sekä annetaan suosituksia riskien ja haittojen pienentämiseen. Tuolloin meriliikenteen turvallisuuden näkökulmasta tarkastellaan tuulivoimaloiden aiheuttamat vaarat osana kokonaisvaltaista tarkastelua. Meriliikenteen turvallisuuden heikentymiseen vaikuttavat mm. navigointivirheet ja ajelehtiminen tuulipuistoalueelle, joiden seurauksena voivat olla aluksen törmäminen tuulivoimalaan tai sen rakenteisiin, alusten yhteentörmäys merituulipuistoalueen välttämiseksi tai aluksen osuminen merenpohjaan tai muuhun esteeseen.

Liikenteenohjauksen tutka-asemien ja alusten käyttämien reittien väliin sijoitettavat tuulivoimapuistot saattavat vaikeuttaa alusten havaittavuutta, liikennöinnin ja tilannekuvan muodostamista sekä heikentää turvallisuutta ja jopa edellyttää laajoja järjestelmien muuttamistoimia. Onkin esitetty näkemys, jonka mukaan merkittävän liikenteen alueilla avomerellä sijaitsevan tuulivoimapuiston läpi turvallisesti navigointi on lähes mahdotonta. Navigointi käsittää sekä aluksen sijainnin määrittelyn että mahdollisten esteiden ja

muun liikenteen havainnoinnin. Yleisesti käytössä olevat tutkajärjestelmät ovat itsekali-broituvia. Meriliikenteen ohjaus ja valvonta puolestaan hoidetaan kiinteillä tutkajärjestelmillä. Toiminnassa olevista tuulivoimaloista on todettu syntyvän häiriöitä mm. ARPA (Automatic Radar Plotting Aid) -järjestelmille jopa 2 merimailin (n. 2,6 km) etäisyydelle. Tällöin muun muassa tuulipuiston rakentamisen seurauksena reitin uudelleen määrittelyssä on otettava huomioon aluksen liikennetila (ship domain), noin 0,8 merimailin (n. 1,5 km), ja meriteiden sääntöjen (COLREG) noudattamisen edellytykset, joka tarkoittaa alusten keskinäiseen turvalliseen väistämiseen tarvittavaa ohitus- / kohtaamisetäisyyttä. Suomessa ruopattujen väylien osalta ollaan kuitenkin tilanteessa, jossa ohittaminen tai väistäminen on muutenkin lähes mahdotonta paikasta riippuen.

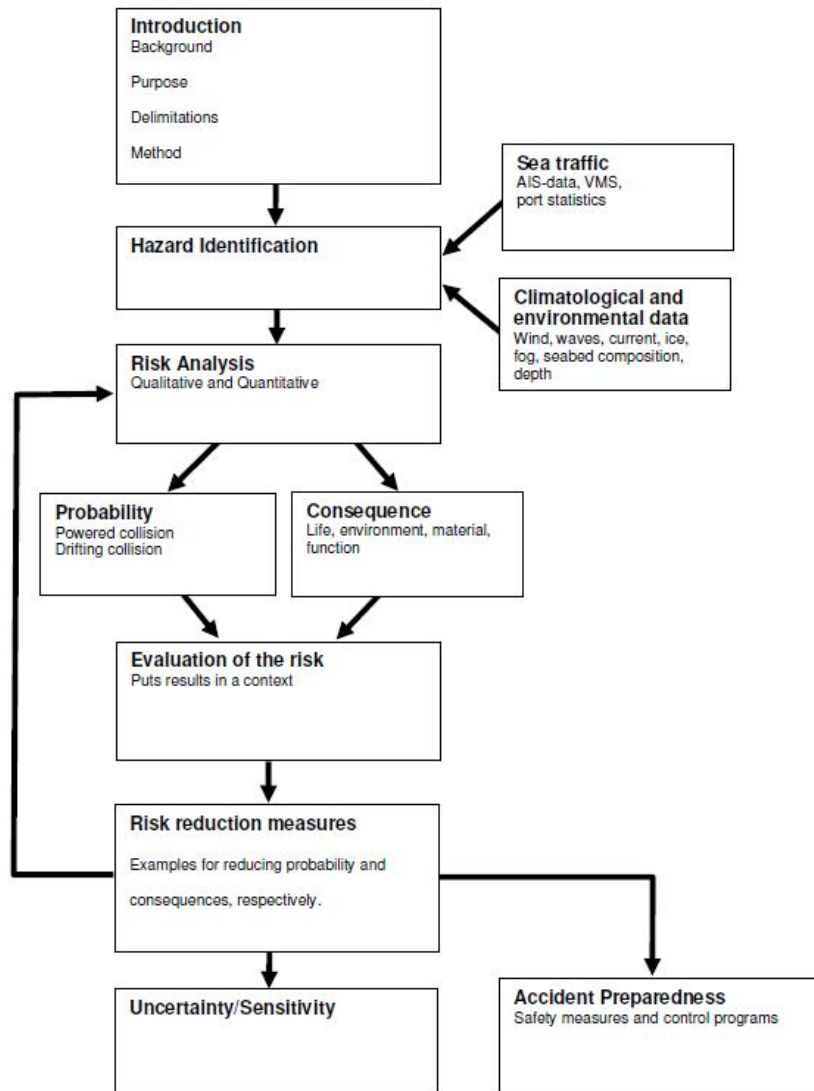
Yleisesti lähteissä todetaan, että tuulipuistojen ja valvontatutkien yhteensovittaminen on suunniteltava ennen tuulivoimapuistojen rakentamista. Meriliikenteen alusten navigointijärjestelmät mahdollistavat liikennöinnin lähes kaikissa olosuhteissa. Toisaalta navigointi huonoissa olosuhteissa ja pimeällä edellyttää navigointilaitteilta häiriötöntä toimintaa. Talvimerenkulun tutkankäyttö vaatii heijastusten saannin jäätä jääkentässä navigoimiseksi. Tilanne poikkeaa täysin kuitenkin tutkan käytön osalta avomerenkulussa. Tutkan häiriötaso nousee (veden tai jään pinta välkehtii) ja tutkien häiriönsuodatus vaikuttaa ratkaisevasti aluksen navigointikykyyn sekä avovedessä että varsinkin jäänavigoinnissa. Vähimmäisetäisyydeksi laivaväyliin on mm. ehdotettu Suomessa 3 merimailia (5,6 km) tutkanäkemää rajoittavan välkkeen vuoksi (tutkavalmistaja Terman lausunto).

Kuten edellä osiossa 4.3.5 mainittiin, mm. Iso-Britannian Maritime and Coastguard agency on antanut ohjeistuksen Offshore Renewable Energy Installations (OREIs) - Guidance on UK Navigational Practice, Safety and Emergency Response Issues (MGN 371), jossa myös käsitellään meriliikenteeseen liittyviä asioita, jotka pitäisi huomioida riskinarvioinnissa tuulivoimaa suunniteltaessa. Ohjeen mukaan mahdollisia meriliikennöinti- ja navigointivaikutuksia (kommunikaatio, tutkat, paikannusjärjestelmät) sekä aiheutuneita ongelmia merenkävijöille ja pelastustoimille tulisi arvioida tuulipuiston sijoituspaikalla ja sen ympäristössä. Pelastustoimiin liittyen pitäisi olla yhteydessä paikallisiin ja kansallisiin pelastus- ja etsintäviranomaisiin mm. mahdollisten pelastustoimien vaatimuksista mm. käytettävän pelastuskaluston osalta. Myös arviointia vaikutuksista reitiltä poikkeaville aluksille ja kalastus- ja virkistysaluksille tulisi suorittaa. Arvioinnissa on huomioitava mm. säätilan, vuoroveden ja vuorovesivirtausten vaikutukset. Vaikutukset tulisi arvioida pysähtymisen, käytön ja purkutöiden ajalta. Riskinarvioinnissa tulee käyttää viimeisintä tietoa alueella liikennöivistä aluksista ja käytetyistä reiteistä niin kattavasti, että vuodenaikainen tms. vaihtelu on havaittavissa. Myös mm. kalastusalueet, satamat, ankkurointipaikat, alueen tuulivoimapuistot/-hankkeet ja muut erityisalueet on huomioitava tarkastelussa. Lisäksi on tehtävä arvio, miten tuulipuisto vaikuttaa erityyppisten alusten liikkumiseen sen lähellä tai sisällä ja esitettävä miten voimat merkitään.

Useat tahot tekevät meriliikenteen riskinarviointeja yksittäisiin tuulivoimaprojekteihin. Ruotsissa SSPA on tutkinut erilaisia meriliikenteen riskinarviointimenetelmiä ja raportoinut siitä julkaisuun: SSPA (2008) Methodology for Assessing Risks to Ship Traffic from Offshore Wind Farms. Ao. kuvassa on esitetty SSPA:n käytössä olevan riskinarviointiprosessin kulku (kuva 36). Arviointien kohteena on pääasiassa kaupallinen alusliikenne, mutta myös kalastus- ja huvialukset huomioidaan. Myös IMO (International Maritime Organization) on esitellyt vastaavasti prosessin (formal safety assessment, FSA) merenkulun riskien arvioimiseksi, meriympäristön suojelemiseksi ja riskienhallinnan kustannusten ja hyötyjen tutkimiseksi.

Tavoitteena arvioinneissa on, että hahmotetaan riskit merituulipuiston koko elinkaaren ajalta ja erityisesti alkuvaiheessa onkin keskusteltava laajasti eri osapuolten kanssa riskien hahmottamiseksi. Arvioinnissa huomioidaan tulevaisuuden muutokset liikennöinnissä tai tuulipuiston rakenteesta tms. Riskinarvioinnin lähtötietoina tulee olla tarkat tiedot tuulipuiston rakenteesta ja alueen alusliikenteestä (mm. AIS-tiedot, myös tulevaisuuden

skenaario), alueen ilmasto- ja ympäristötiedot (mm. tuulennopeus, aalto- ja jäättilanne, merenpohjan laatu ja vedenkorkeus) sekä alueella tapahtuneet alusten rikkoutumiset ja onnettomuudet sekä todennäköisyydet niihin.



Kuva 36. SSPA:n kehittämä ja käyttämä riskinarviointiprosessi. (SSPA, 2008)

Aluksen törmäämismalleja merituulivoimapuistoihin liittyen on kehitetty useita, joita on alla olevassa taulukossa 4. Esimerkiksi SSPA käyttää omaa malliaan, joka on muodostettu yleisesti käytössä olevien mallien perusteella. Törmäysriskit arvioidaan tilanteessa, jossa alus kulkee moottorien avulla sekä ajelehtien. Lisäksi tehdään arvio alusten yhteen törmäämisen ja aluksen pohjaan osumisen riskistä. Törmäysriskien arvioinnin jälkeen toteutetaan tapahtumaan liittyvien seurauksien suuruudenarviointi, jotka voivat olla:

- Henkilövahinko (aluksen törmätessä tai voimalan osien osuessa alukseen)
- Omaisuusvahinko, jolloin vaikutukset liittyvät energiantuotantoon, aluksen tai tuulivoimalan rikkoutumiseen, pelastustyöstä aiheutuviin kustannuksiin tai jälkihoitoon
- Ympäristövahinko, jolloin arvioidaan mahdollisuus öljyvuotoon tai muun ympäristölle haitallisen aineen vuotoon aluksesta tai voimalasta

Tällöin osana kokonaisvaltaista tarkastelua arvioidaan myös vaikutukset tutka- ja kommunikointilaitteisiin sekä pelastustoimintoihin.

Taulukko 4. Törmäämismalleja, joita käytetään riskinarvioinnissa törmäysriskin suuruuden määrittämiseen. (SSPA, 2008)

<i>Model</i>	<i>Company/Organisation</i>	<i>Selected References</i>
COLLIDE	Safetec Nordic AS	Haugen (1998) Spouge (1999) Safetec (2002)
SOCRA ¹ /SAMSON ²	MARIN (Maritime Research Institute Netherlands)	van der Tak and Glansdorp (Year unknown) van der Tak und Rudolph (2003) van der Tak (2005a) van der Tak (2005b) SAFESHIP (2005) SAFESHIP (2006) Kleissen (2006)
CRASH/ MARCS ³	DNV (Det Norske Veritas)	Spouge (1999) SAFESHIP (2005) Christensen (2007)
COLWT	GL (Germanischer Lloyd)	Germanischer Lloyd (2002) Neuhaus and Thrün (2003) Otto and Petersen (2003) Povel et al. (2004) Otto (2004) Povel and Petersen (2004) SAFESHIP (2005) SAFESHIP (2006) Povel (2006)
COLLRISK	Anatec UK Ltd	Anatec UK Limited (2002) SAFESHIP (2006)
DYMITRI	BMT (British Maritime Technology) Limited	Safety at Sea (2005)

¹ SOCRA (Ship Offshore platform Collision Risk Assessment) is a module in MANS (Management Analysis North Sea).

² SAMSON (Safety Assessment Models for Shipping and Offshore in the North Sea).

³ CRASH (Computerised Risk Assessment of Shipping Hazards), MARCS (Marine Accident Risk Calculation System).

Kansainvälisistä hankkeista meriliikenteen riskien arvioimiseksi voidaan mainita Euroopan komission rahoittama SAFESHIP -hanke ("Reduction of Ship Collision Risks for Offshore Wind Farms"). Hankkeen tavoitteena oli vähentää alusten törmäysriskiä merituulivoimaloihin kehittämällä kustannustehokkaita teknologioita ja riskinarviointimenetelmiä sekä samalla tehostaa hankkeiden toteutumista. Hankkeessa mm. verrattiin Germanischer Lloyd AG:n (GL), Det Norske Veritas:in (DNV) ja Maritime Research Institute Netherlands:in (MARIN) alusten törmäämisen todennäköisyyksille, joiden avulla tehtiin uusi todennäköisyysmalli.

Meriliikenteen riskien vähentämiskeinot liittyvät joko onnettomuuksien tai muiden seurausten todennäköisyyden pienentämiseen tai mahdollisesti syntyvien haittojen vähentämiseen. Esimerkkejä riskien vähentämiskeinoista meriliikenteen turvallisuuden varmistamisen yhteydessä (SSPA, 2008):

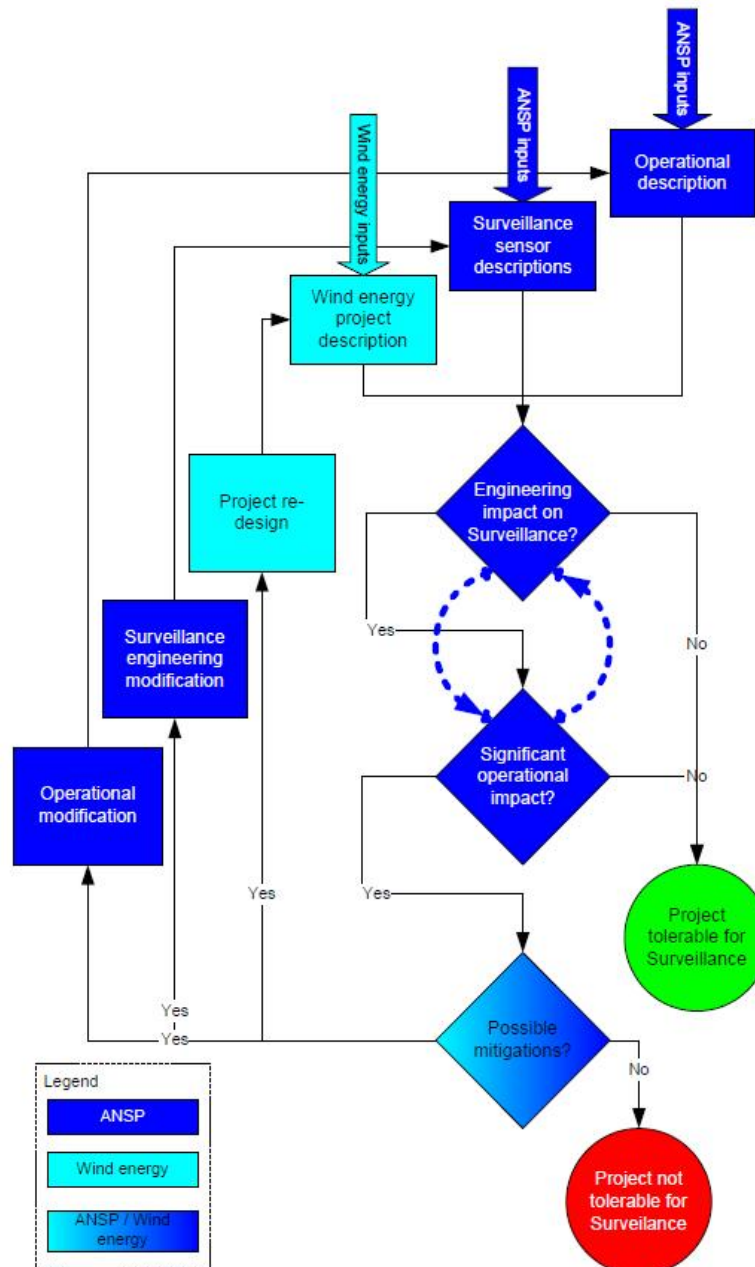
- tuulivoimaloiden sijoitussuunnittelu riskinarvioinnin tulokset huomioiden,
- perustusten ja tuulivoimalan ympäristön suunnittelu niin, että mahdollisessa törmäyksessä vahingot jäävät pieniksi,
- voimaloiden varustaminen nopean pysäyttämisen mahdollistamiseksi,

- voimaloiden sisältämien kemikaalien määrän rajoittaminen (mm. öljyt, jäähdytysaineet),
- varoitusvalojen ja merkkien asentaminen tuulivoimaloihin, jotka voivat toimia myös navigoinnin ja pelastustoimien apuna lopputilanteessa,
- liikenne-erotusvyöhykkeiden tai muuten turvallisten väylien toteuttaminen,
- merimerkkien sijoittaminen ja suoja-alueiden merkitseminen voimaloiden ympärille,
- alusten navigointiedellytysten ja muun kaluston parantaminen,
- AIS-laitteiston asentaminen tuulipuistoon,
- kameroiden asentaminen tuulipuistoon alueen tarkkailemiseksi,
- tuulipuistoalueen varustaminen helikopterin laskeutumisalustalla ja pelastusalueiden telakointipaikoilla sekä muiden pelastustoimien edellytysten parantaminen,
- turvallisuusohjeen ja hätätoimintasuunnitelman laatiminen (myös rakentamisen ajalle),
- merikaapeleiden sijoittaminen hätäankkurointi huomioiden.

6.2.5 Lentoliikenteeseen vaikuttavat vaarat ja riskinarviointi

Lentoliikenteen osalta vaaroina on turvallisuuden näkökulmasta käsitelty tutka- ja ohjausjärjestelmien häiriöiden seurauksena tapahtuvaa kommunikaatio-ongelmaa sekä mahdollista toiminnallista haittaa lentotoimintojen käytettävyyssalueiden muuttumisen seurauksena, jos lentoasemien ympärille rakennetaan lentoesteiksi luokiteltavia tuulivoimaloita. Vaikutuksia lentoliikenteelle voi syntyä muun muassa mittarilentotoimintoihin, lento-tiedotus- ja lennonjohtovyöhykkeisiin, minimisektorikorkeuksiin ja lentokoneiden nousu-/laskukulmiin. Näitä toiminnallisia haittoja on lisäksi kuvattu lentoliikenteen sujuvuuden kautta, joka vaikuttaa mm. lentoaseman käytettävyyden heikentymiseen ja siten heikosti kannattavan lentoliikenteen loppumiseen. Myös turbulenssi on nostettu esiin lentoliikennettä heikentävänä vaarana.

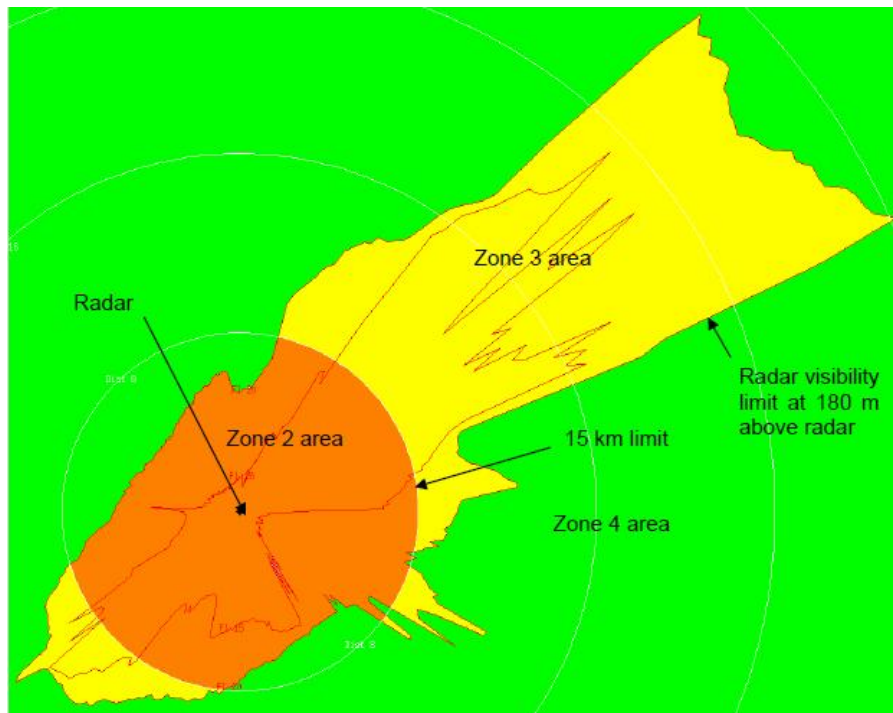
Ohjeistuksia lentoliikennevaikutusten arviointiin löytyy ICAO:n v. 2009 ohjeesta European guidance material on managing building restricted areas. Sen mukaan arvioinnissa on huomioitava mm. mittarilentotoiminnot, minimisektorikorkeudet ja lentokoneiden nousukulmat sekä ICAO:n Annex 14 pinnat. Kuvassa 37 on esitetty esimerkkinä valvontasensoreille aiheutuvien vaikutusten arviointi -prosessi. Ohjeita tuulivoimahankkeen vaikutusten arvioinnista valvontasensoreihin on annettu lisäksi European Organisation for the Safety of Air Navigation, Eurocontrol (2009) julkaisussa.



Kuva 37. Lentoliikenteen valvontasensoreille aiheutuvien vaikutusten arviointi. Kuvassa tumman sinisellä lentonavigaatiopalveluiden tuottajan (ANSP=Air Navigation Service Providers) tehtävät ja turkoosilla tuulivoimatoimijan tehtävät (Eurocontrol 2010).

Ohjeistuksessa määritetään vyöhykkeet tuulivoimaloiden sijoittamiseksi eri valvontasensoreihin nähden. Turvavyöhykkeelle välittömästi sensorin läheisyyteen voimaloiden rakentaminen ei ole sallittua. Seuraavalle vyöhykkeelle tuulivoimaloita voidaan rakentaa, jos yksityiskohtainen vaikutusten arviointi osoittaa, että vaikutukset ovat siedettäviä. Kolmannelle vyöhykkeelle voimaloita voidaan rakentaa, jos yksinkertaisen vaikutustenarvioinnin perusteella näin todetaan. Ulommaiselle vyöhykkeelle voimaloita voidaan rakentaa vapaasti, koska vaikutus on hyväksyttävä tai olematon. Esimerkiksi ensiötutkalle

(PSR, Primary Surveillance Radar) tarkasteltaessa tyypillistä tuulivoimalaa (kokonaiskorkeus 30–200 m) turvavyöhyke on 0-500 metriä, toinen vyöhyke 500 m-15 km etäisyydellä (sijainti tutkan näkyvyysalueella), kolmas vyöhyke > 15 km päässä (mittarilentoalueella sekä tutkan näkyvyysalueella) ja uloin vyöhyke kattaa muut alueet (kuva 38). Muita arvioitavia kohteita ovat toisiotutka (SSR, Secondary Surveillance Radar), Radar Far-Field Monitors (FFM) ja mahdolliset syntyvät yhteisvaikutukset olemassa olevien tuulivoimaloiden kanssa.



Kuva 38. Esimerkki eri arviointivyöhykkeistä 180 metrin korkeudella oikeasta tutkasta. (Eurocontrol 2010)

6.3 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tuulivoimalan vauriot ja irtoavat osat, lumen ja jään irtoaminen sekä kuljettajan keskittymisen häiriintyminen ja häiriöt ovat vaaroja, jotka yhdistetään puhuttaessa tuulivoimaloiden vaikutuksista liikenneturvallisuuteen. Kappaleessa 3 maanteiden ja rautateiden osalta vaaroista määrittäviä ovat vertailumaiden osalta vaurioituminen ja jään irtoaminen. Meriliikenteen alusturvallisuus liitetään vertailumaissa osaksi kokonaisvaltaista riskitarkastelua, kun taas lentoliikenteen tutka ja ohjaukseen liittyvät vaarat kartoitetaan osana vaikutustarkastelua osana lentotoimintojen käytettävyyalueita.

Riskien arvioinnissa ja siihen liittyvässä käsittelyssä on oleellista ymmärtää toimintaympäristö, siihen liittyvät haasteet sekä toimintaympäristössä tapahtuvat muutokset tulevaisuudessa. Tapahtumasta riippuen riskillä voi olla yksi tai useita negatiivisia seurauksia tai mahdollisuuksia. Tämän vuoksi ne voivat vaikuttaa eri tavalla riskin hyväksyttävyyteen tai asetettuihin tavoitteisiin. Asiantuntija-arvio riskin suuruudesta saattaa perustua esimerkiksi kuolleisuuteen. Esimerkiksi liikennepoliittisessa selonteossa ja Liikenneviraston strategiassa huomioidaan nolla-tapaturma-ajattelu ja ettei kenenkään tarvitsisi kuolla liikenteessä. Myös useilla toiminnan harjoittajilla turvallisuus ja toimintavarmuus ovat keskeisiä lähtökohtia. Riskin hyväksyttävyys eli tarkasteltavaa tapahtumaa tai asiaa pide-

tään hyväksyttävänä, kun esimerkiksi riittävä turvallisuuden taso saavutetaan arvioitavalle kohteelle.

Tuulivoimaloihin liittyvää riskitasoa osana liikenneturvallisuuden pohdittaa, tulee riskin seuraukset ja todennäköisyys huomioida sen mukaan, minkä tyyppinen riski on milloinkin kyseessä, sekä millaista lähtötietoa on saatavilla päätöksenteon tueksi. Lisäksi on hyvä arvioida lähtökohta, mihin riskin arvioinnin tuloksia aiotaan hyödyntää. Riskin todennäköisyys ja merkittävyys koetaan riskin arvioinnissa samanarvoisiksi, vaikka todellisuudessa todennäköisyyden ja merkittävyyden suhteet vaihtelevat lopputilanteessa. Tapah-
tumassa, jossa riskin todennäköisyys on pieni ja samanaikaisesti riskin merkittävyys on suuri, riskin uhka on merkittävä, jos siihen ei ole osattu varautua. Toisaalta tilanteessa, jossa riskin todennäköisyys on puolestaan hyvin suuri, mutta sen merkitys on pieni, viime kädessä riskin toteutuminen saattaa aiheuttaa lievän vaaratilanteen tai pienen taloudellisen menetyksen.

7. Selvityksen laatijoiden suositukset

7.1 Maantie- ja rautatieliikenne

Maantiet

- Liikenneviraston/Ely-keskuksen lausunto on pyydettävä, jos tuulivoimala on tarkoitus sijoittaa lähemmäksi maantietä tai sen liittymäaluetta kuin 2 x voimalan kokonaiskorkeus maantien suoja-alueen rajasta mitattaessa.
- Maanteiden kohdalla yleiseksi vähimmäisetäisyysvaatimukseksi ehdotetaan 1 x tuulivoimalan kokonaiskorkeus. Tienpitäjä voi perustelluista syistä edellyttää suurempaa etäisyyttä esimerkiksi pääteiden vilkkaiden liittymien läheisyydessä. Etäisyyttä voidaan myös vaatia pidennettäväksi keskittymishäiriöiden välttämiseksi silloin, jos tuulivoimalan sijainti on sellainen, että se tulee näkyviin tielläliikkujalle yllättäen. Etäisyys mitattaisiin jatkossa kaikkien maantien osalta suoja-alueen rajasta. Etäisyysvaatimuksen määrittäminen suoja-alueen rajasta on perusteltua, koska suoja-alue käsittää aluevarauksen maantien parantamiselle, joka voi sisältää tien esimerkiksi leventämistä, liittymien kanavointia, melusteiden ja pohjavesisuojiin rakentamista.
- Lumen ja jään irtoamisen riskin vähentämiseksi voidaan Pohjois-Suomen alueilla, joilla yleisesti esiintyy merkittävää jäätymistä, määrittää etäisyysvaatimuksen maanteille olevan 1,5 x voimalan kokonaiskorkeus, jos käytössä ei ole erityisiä jään estämiseen olevia laitteita.

Etäisyysvaatimuksia voidaan tarvittaessa pienentää kohdekohtaisilla riskiarvioinnin tuloksilla.

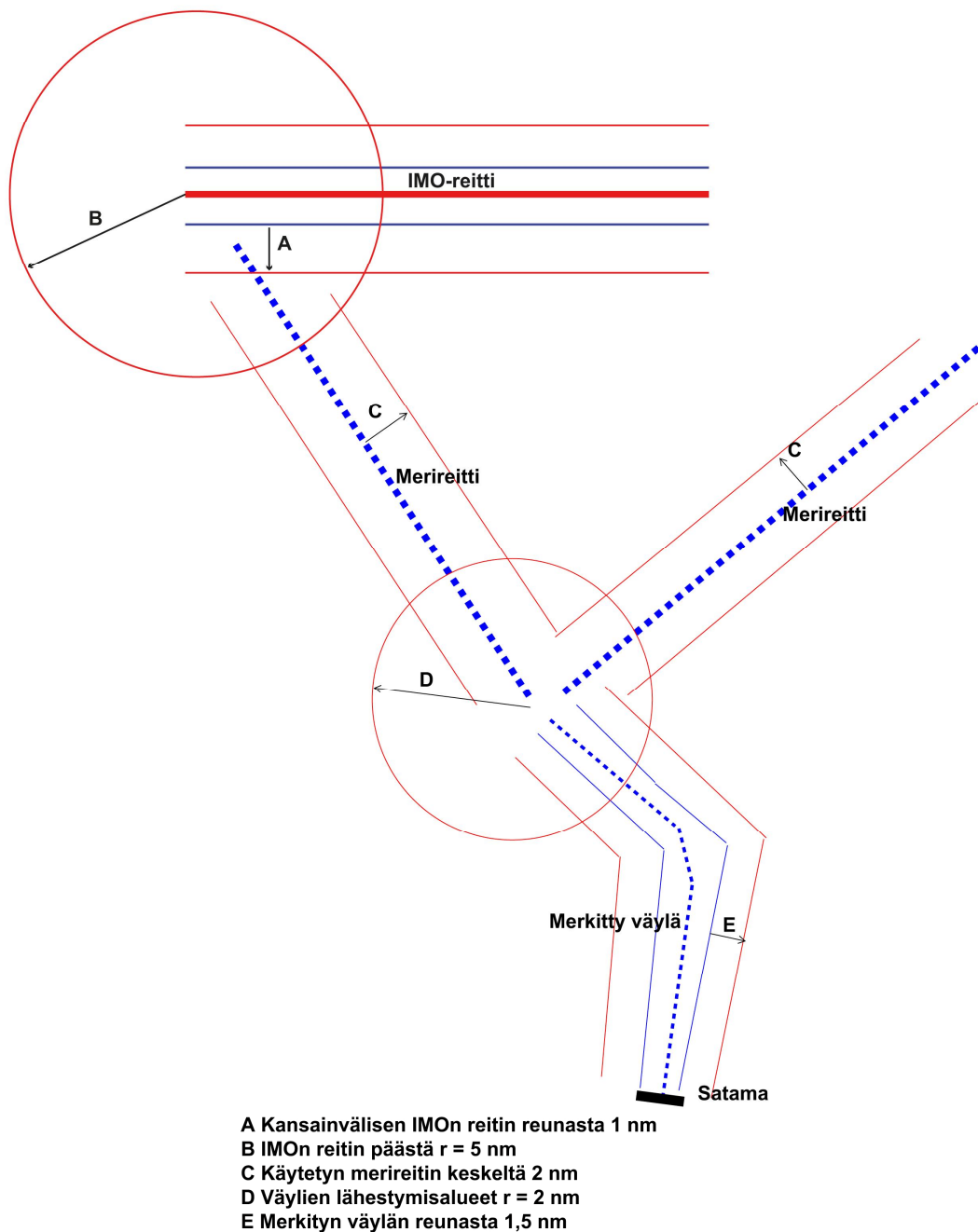
Rautatiet

- Liikenneviraston lausunto on pyydettävä, jos tuulivoimala on tarkoitus sijoittaa lähemmäksi rautatietä kuin 1,7 x voimalan kokonaiskorkeus.
- Rautateiden kohdalla yleiseksi etäisyysvaatimukseksi ehdotetaan 1 x tuulivoimalan kokonaiskorkeutta. Etäisyys mitataan radan suoja-alueen reunasta.
- Lumen ja jään irtoamisen riskin vähentämiseksi voidaan Pohjois-Suomessa alueilla, joilla yleisesti esiintyy merkittävää jäätymistä, määrittää etäisyysvaatimuksen olevan 1,5 x voimalan kokonaiskorkeus, jos käytössä ei ole erityisiä jään estämiseen olevia laitteita.

Etäisyysvaatimuksia voidaan tarvittaessa pienentää kohdekohtaisilla riskiarvioinnin tuloksilla.

7.2 Meriliikenne

- Liikenneviraston lausunto on pyydettävä, jos tuulivoimapuisto on tarkoitus sijoittaa merialueille tai väyläalueen läheisyyteen maa-alueilla.
- Merialueiden tuulivoimaloiden etäisyysvaatimukset ko. alueilla sijaitseviin vesiväyliin nähden, määritellään hankekohtaisen riskitarkastelun perusteella, erityisesti jääolosuhteissa tapahtuvan liikennöinti huomioiden.
- IMO:n reititysjärjestelmään liittyvien etäisyysvaatimusten osalta tulisi tavoitteena olla kansainvälinen käytäntö. Riippuvaisuus merikuljetuksista edellyttää Suomelta aktiivisuutta meriväylien käytön varmistamiseksi.
- Tuulivoimaloiden ja meritulipuistojen suunnittelun lähtökohtana voidaan käyttää alla kuvassa 39 esitettyjä etäisyysvaatimuksia.



Kuva 39. Ehdotus tuulivoimaloiden ja merituulipuistojen suunnittelussa käytettävistä suuntia antavista etäisyysvaatimuksista. IMO:n reittien päihin suuntautuu vilkkaasti liikennöityjä merireittejä eri suunnista, minkä johdosta päihin esitetään laajaa rauhoitettua aluetta.

- Merireittien kohdalle voidaan tietyissä tapauksissa harkita tuulivoimaloiden rakentamista. Tämä koskee vähemmän vilkkaita reittejä ja sellaisia, joille on olemassa järkevät vaihtoehdot. Arviot suoritetaan vaikutustarkasteluiden yhteydessä.
- Riski- ja vaikutustarkasteluissa tulee ottaa huomioon meriliikenteen ohjaus- ja valvontajärjestelmät samoin kuin liikenne sekä sijainti (mm. matalikot, ympäristö- ja eliöolosuhteet). Ohjaus- ja valvontajärjestelmien mahdollisten muutosten kustannuksista sekä niiden mahdollisista kompensaatioista tulee aina sopia yhdessä.

sä Liikenneviraston ja muiden kohteen osallisten kesken. Lähtökohtana on, että muutoskustannuksista vastaisi tuulivoimalan rakentaja, huomioiden kuitenkin käytössä olevan järjestelmän elinkaari.

7.3 Lentoliikenne

- Selkeytetään ja yksinkertaistetaan lentoestelupien vyöhykkeet tuulivoimaloiden suunnittelun lähtökohdiksi
 - o läheiset lentoestepinnat (kartiopinnat), joilla lentoestelupa voidaan myöntää vain pintojen alapuolelle jääville rakenteille. Lentoasemien läheiset lentoesterajoituspinnat Suomessa ovat 15 km kiitotien suuntaisesti ja 6 km sen sivuille.
 - o käytettävyyalueet (MSA), jotka ulottuvat 56 km:n päähän lentoaseman radiosuunnistuslaitteesta. Tällä vyöhykkeellä lentoestelupa myönnetään jos suurimman sallitun tuulivoimalan huipun korkeus alittuu. Korkeusrajoitukset löytyvät Finavian paikkatietoaineistosta. Jos korkeus ylittyy, voidaan suorittaa vaikutustarkastelu, jonka perusteella lentoestelupa mahdollisesti voidaan myöntää. Lentoliikenteen osalta vaikutustarkastelun suorittaa Trafif. Lentoesteluvan hakijalle varataan mahdollisuus laatia laajempi vaikutus- ja riskitarkastelu, jonka tulee sisältää ainakin vaikutusvyöhykkeen sisäpuolelle sijoittuvien lentoasemien lentoesterajoituspintojen ja käytettävyyalueiden tarkastelun, tutka-, radio- ja navigaatiolaitteiden turvallisuusalueiden määrittämisen sekä yhteiskunnalliset vaikutukset, jossa osoitetaan mm. energian tuotantoon ja lentotoimintaan liittyvät taloudelliset hyödyt ja haitat.
 - o muut alueet, toisin sanoen MSA-alueiden ulkopuoliset alueet 56 km:n päässä lentoasemista, joilla lentoestelupa voidaan myöntää tuulivoimalan korkeudesta riippumatta.
- Luodaan käytäntö ja prosessi (mm. sisältö ja osalliset) MSA-alueiden laajempien vaikutus- ja riskiselvitysten suorittamiseksi.
- Ohjeistetaan huomioimaan lentoesteet kaavoitusprosessin alkuvaiheessa, ja varataan Trafille mahdollisuus osallistua kaavoitushankkeisiin, jotka sijoittuvat MSA-alueille.

Lähteet

Anatec (2002). Burbo Bank Offshore Windfarm - Navigational Risk Assessment. Iso-Britannia. Saatavilla 29.5.2012:
[Http://www.dongenergy.com/SiteCollectionDocuments/New%20Corporate/Burbo/BurboAppVol4ENavigation.pdf](http://www.dongenergy.com/SiteCollectionDocuments/New%20Corporate/Burbo/BurboAppVol4ENavigation.pdf)

Boverket (2009). Vindkraftshandboken - Planering och prövning av vindkraftverk på land och i kustnära vattenområden. Ruotsi.

Braam H., Rademakers L.W.M.M. (2004). Guidelines on the Environmental Risk of Wind Turbines in the Netherlands. Hollanti.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit bzw., Forschungszentrum Jülich PTJ, (2009). Abschätzung der Ausbaupotentiale der Wingenergie an Infrastrukturaschen und Entwicklung von Kriterien der Zulassung. Saksa.

By- og Landskabsstyrelsen (2010). Rapport om Afstandskrav mellem vindmøller og veje og jernbaner. Tanska.

Caithness Windfarm Information Forum (2012). Summary of Wind Turbine Accident data to 31 December 2011. Skotlanti.

Cattin R. (2012). Ice throw studies. Gütsch and St. Brais. Saksa.

Canadian Wind Energy Association (2007). Position on Setbacks for Large-Scale Wind Turbines in Rural Areas (MOE Class 3) in Ontario. Kanada.

Civil Aviation Authority (2012). CAP 764: CAA Policy and Guidelines on Wind Turbines. Iso-Britannia. Saatavilla 29.5.2012:
<http://www.caa.co.uk/application.aspx?catid=33&pagetype=65&appid=11&mode=detail&id=2358>

DENA (2011). Offshore-wind.de. Saksa. Saatavilla 1.6.2012:
<http://www.offshorewind.de/>

Department of Energy & Climate Change (2011). Aviation & radar. Iso-Britannia. Saatavilla 29.5.2012:
http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/meeting_energy/wind/onshore/aviation_radar/aviation_radar.aspx

Department of Energy & Climate Change (2012). Renewables Map. Iso-Britannia. Saatavilla 29.5.2012: <http://restats.decc.gov.uk/app/pub/map/map/>

Deutsche Flugsicherung (2001). Nachrichten für Luftfahrer, Teil I. Saksa.

Det Norske Veritas (2006) Technical Report - Energi E2, Navigational Risk Assessment Frequency Analysis, Wind Farm Horns Rev 2. Saatavilla 28.5.2012:
http://193.88.185.141/Graphics/Energiforsyning/Vedvarende_energi/Vind/havvindmoeller/vvm%20Horns%20Rev%202/Horns%20Rev/643233-REP01%20rev_1-UK.pdf

DFLD (2004). Planfeststellungsunterlagen Fraport NW-Bahn. Saksa. Saatavilla 29.5.2012:
http://www.dfld.de/Link.php?URL=PFV_Landebahn/PFV2/Ordner02/014_A3_3-5.htm

Dobesch H., Zach S., Hung Viet Tran (2003). A new map of icing potentials in Europe – problems and results. Suomi.

Elforsk (2008). Mapping of Icing for Wind Turbine Applications - A Feasibility Study. Saatavilla 30.5.2012:

http://www.elforsk.se/Global/Vindforsk/Rapporter%20fran%20Vindforsk%20II/elforsk%20rapport%2008_40%20V-158%20feasibility%20study.pdf

ESS Group (2003) Navigational Risk Assessment - Cape Wind Project, Nantucket Sound. Saatavissa: <http://www.nae.usace.army.mil/projects/ma/ccwf/app512b.pdf>

Eurocontrol (2010). Guidelines on how to assess the potential impact of wind turbines on surveillance sensors. Saatavilla 29.5.2012:

http://www.apere.org/manager/docnum/doc/doc1289_Guidelines_fiche117.pdf

European Organisation for the Safety of Air Navigation, Eurocontrol (2009) Guidelines on How to Assess the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors.

Finavia (2012a). Korkeusrajoitukset paikkatietoaineistona. Suomi. Saatavilla 1.6.2012:

<http://www.finavia.fi/tietoafinaviasta/lentoesteet/korkeusrajoitukset-paikkatietoaineistona>

Finavia (2012b). Ympäristö - jatkuvan liu'un menetelmä. Suomi. Saatavilla 1.6.2012:

<http://www.finavia.fi/ymparisto/melu/cd>

Finavia (2011). Lentoliikenne ja tuulivoima; Sari Lajunen esitys. Suomi. Tuulivoimarakentamisen neuvottelupäivä 17.11.2011.

Göransson B. (2012). How dangerous are wind turbines in cold climate and can we do something about it? Ruotsi.

Highway Agency (2009). Planning applications for wind turbines sited near to trunk roads. Iso-Britannia.

ICAO (2009). European guidance material on managing building restricted areas. Saatavilla 29.5.2012: http://www.paris.icao.int/documents_open/show_file.php?id=188

SFS-ISO 31000 Riskienhallinta (2009). Periaatteet ja ohjeet.

Kaiser S., Fröhlingsdorf M. (2007). The Dangers of Wind Power. Bloomberg Businessweek. Saksa.

Liikennevirasto (2011). Tuulivoimalan etäisyys maanteistä ja rautateistä sekä vesiväyliä koskeva ohjeistus. Ohje 2854/060/2011. Suomi.

Liikennevirasto (2011a). Vesiväyliin liittyviä käsitteitä. Suomi.

Liikennevirasto (2012). Tuulivoimalaohje – Ohje Tuulivoimalan rakentamisesta liikenneväylien läheisyyteen. Liikenneviraston ohjeita 8/2012. Suomi.

Liikennevirasto (2012a). Suomen tärkeimmät vesitiet. Suomi. Saatavilla 28.5.2012:

http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/liikenneverkko/vesivaylat_kanavat/Suomen_tarkeimmat%20vesitiet_suomi_2009_lv_pdf.pdf

Liikennevirasto (2012b). Suomi. Itämeren väylät alustyypeittäin; pääjohtaja Juhani Tervala esitys.

McCarthy K. (2011). Standards in Other States for Siting Wind Projects. Office of Legislative Research, Yhdysvallat.

Morgan C., Bossanyi E. and Seifert H. (1997), "Assessment of safety risks arising from windturbine icing", Proceedings of EWEC '97 conference, Dublin.

Ministry of energy and infrastructure Ontario (2009). Provincial approvals for renewable energy projects. Kanada.

NHTSA (2008). National Motor Vehicle Crash Causation Survey. Yhdysvallat. Saatavilla 28.5.2012: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/811059.PDF>

NordanVind Vindkraft AB, WPD (2009) Vindkraftspark Storgrundet, Miljökonsekvensbeskrivning. Ruotsi. Saatavilla 28.5.2012: http://www.wpdsweden.com/fileadmin/pdfs/MKB_Storgrundet090303_webb.pdf.

Office of the Deputy Prime Minister (2004). Planning for Renewable Energy, A Companion Guide. Iso-Britannia. Ramboll & Energinet.dk (2009). Anholt Offshore Wind Farm Analysis of Risks to Ship Traffic. Saatavilla 28.5.2012: <http://www.ens.dk/daDK/UndergrundOgForsyning/VedvarendeEnergi/Vindkraft/Havvindmoeller/Miljoepaavirkninger/Miljoeundersogelser%20for%20specifikke%20projekter/Documents/Anholt/Risk%20to%20ship%20traffic.pdf>

Ontario Ministry of Transportation (2010). Guidelines for Municipal Official Plan Preparation and Review. Kanada.

Ontario (2011). Provincial approvals for Renewable Energy Projects (Ontario). Kanada.

SSPA Sweden Ab (2008). Methodology for Assessing Risks to Ship Traffic from Offshore Wind Farms. Danish Energy Agency (2012) Offshore Wind Power. Saatavilla 28.5.2012: <http://www.ens.dk/enus/supply/renewableenergy/windpower/offshorewindpower/Sider/ForSide.aspx>

Suomen Tuulivoimayhdistys ry (2010). Tietoa tuulivoimasta. Saatavilla 28.5.2012: <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/node/2>

Stanton T. (2012). Wind Energy&Wind Park Siting and Zoning Best Practices and Guidance for States. The National Association of Regulatory Utility Commissioners. Yhdysvallat.

Stenberg A. & Holttinen H. (2011). Tuulivoiman tuotantotilastot. Vuosiraportti 2011. VTT. Suomi. Saatavilla 28.5.2012: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2011/W178.pdf>

Strategic Marine Services Ltd. (2011) The Triton Knoll Offshore Windfarm - Marine Navigational Safety Risk assessment. Saatavilla 28.5.2012: <http://www.rwe.com/web/cms/mediablob/en/657498/data/658300/1/rwe-innogy/sites/windoffshore/developing-sites/triton-knoll-offshore-wind-farm/volume-3-technical-annex/blob.pdf>

Timm D. (2007). Recommendations for risk assessments of ice throw and blade failure in Ontario. Canadian Wind Energy Association.

Trafikverket (2012). Höjdbegränsande områden. Ruotsi. Saatavilla 29.5.2012: <http://www.trafikverket.se/Foretag/Planeraochreda/Samhallsplanering/Luftfart/Hojdbegransandeomraden/>

Transportministeriet (2011). Vindmøllers afstande til overordnede veje og jernbaner. Tanska.

Transport Styrelsen (2010). Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om markering av föremål som kan utgöra en fara för luftfarten. Ruotsi.

Transport Styrelsen (2012). Transport Styrelsen. Ruotsi. Saatavilla 29.5.2012: <http://www.transportstyrelsen.se/>

Turkia V. & Antikainen P. (2012). Dangerous failures of wind turbines. VTT. Suomi.

Vägverket (2006). Vägverkets myndighetsutövning - Stöd för kommuners och länsstyrelser fysiska samhällsplanering. Ruotsi.

Vägverket (2009). Regionalt underlag för samhällsplanering i Region Väst-Hallands län. Ruotsi.

Banverket (2009). Järnvägen i samhällsplaneringen. Ruotsi.

WECO-project (1998). Wind energy production in cold climate (WECO).

WSDOT (2012). Civil Airport Imaginary Surfaces – Enlargement. Yhdysvallat. Saatavilla 29.5.2012: <http://www.wsdot.wa.gov/aviation/Planning/CivAPImagSurfBig.htm>